

# Rechnernetze und Internettechnologien

Dr. Harald Sack  
Institut für Informatik  
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Sommersemester 2008

# Rechnernetze und Internettechnologien

---

1

2

3

05.05.2008 – Vorlesung Nr. 4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

## 2. Grundlagen der Digitalisierung - Datenrepräsentation im Computer (2)



# Rechnernetze und Internettechnologien

---

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

2.6 Audiokodierung und -komprimierung

2.6.1 Audio Digitalisierung

2.6.2 Psychoakustik und mp3 Audiokodierung

2.7 Videokodierung- und komprimierung

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

### ● Was ist Schall? (1/3)

- **Schall** wird hervorgerufen durch Schwingungen von Molekülen in einem elastischen Medium, die sich wellenförmig ausbreiten.

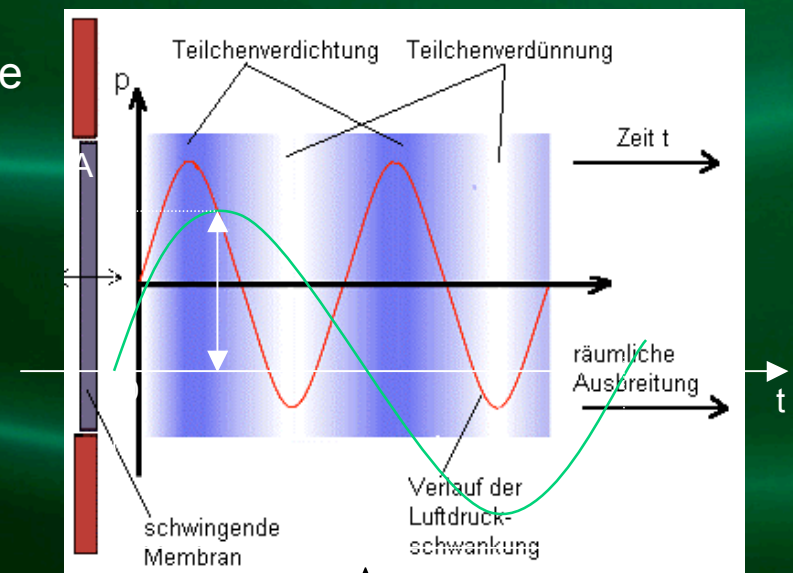
- Maßeinheit:

- Frequenz = #Schwingungen/Sekunde  
= Hz (Hertz)

- $\triangleq$  Dauer einer Schwingung:  $\Delta t$

- Frequenz: 
$$f = \frac{1}{\Delta t}$$

- Lautstärke: Höhe der Amplitude A



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Was ist Schall?** (2/3)

- Lautstärke: **Schalldruck**
  - Druckschwankungen eines kompressiblen Schallübertragungsmediums, die bei der Ausbreitung von Schall auftreten
  - angegeben wird aber meist der **Schalldruckpegel**, gemessen in **Dezibel (db)**
    - 1db entspricht der Lautstärke, bei der ein Ton von 1 KHz gerade noch hörbar ist
    - $p_0 = 0 \text{ db} \rightarrow$  **Hörschwelle**, entspricht Schalldruck von  $20\mu\text{Pa}$



Alexander  
Graham Bell  
(1847-1922)

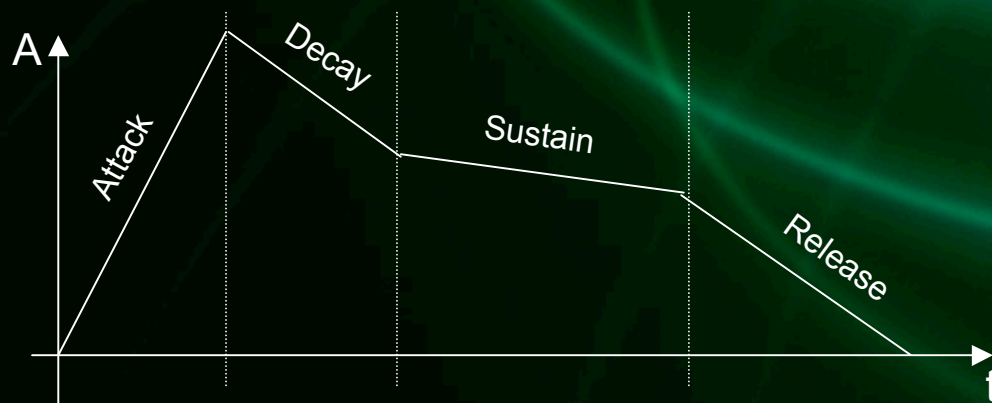


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

### ● Was ist Schall? (3/3)

- der **Klang** (subjektives Schallerlebnis) kann charakterisiert werden durch
  - **Lautstärken** (→ Amplitude) und
  - **Tonhöhen** (→ Frequenz) seiner Grund- und Obertöne (→ Frequenzspektrum)
  - **im zeitlichen Verlauf**



Hüllkurve (envelope) eines Tones

#### **Grundton**

tieфste Frequenz einer komplexen Wellenform

#### **Oberton**

bei natürlicher Tonerzeugung wird stets neben dem Grundton eine Vielzahl höherer Töne erzeugt

#### **Frequenzspektrum**

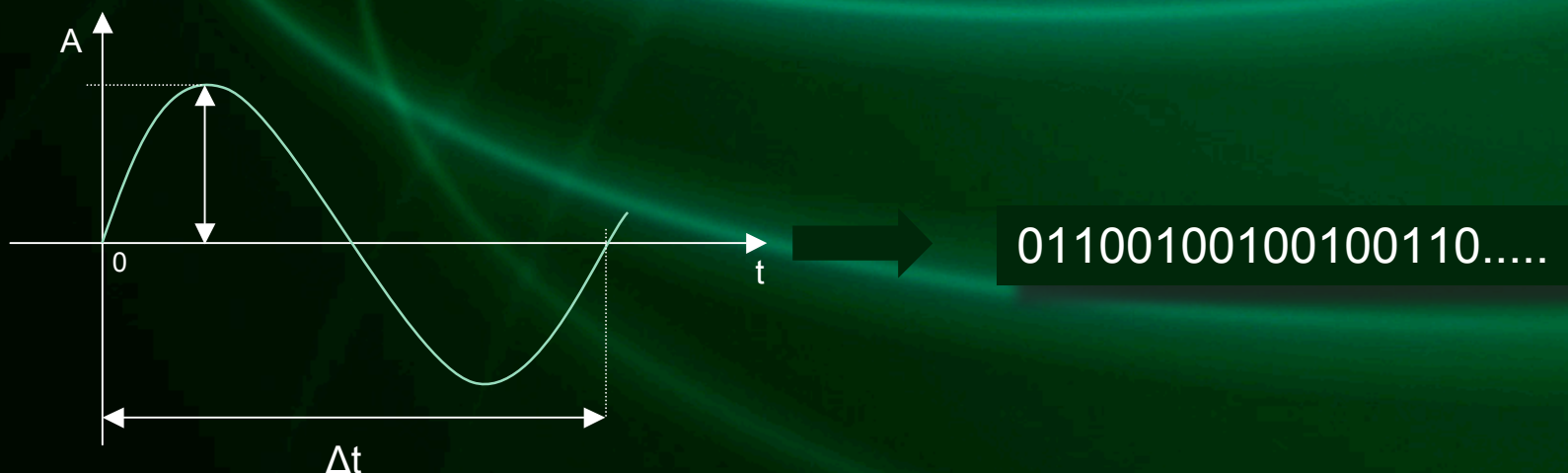
Gesamtheit aller Obertöne

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Analog-Digital-Wandlung** (1/7)

- Lässt sich in drei Stufen zerlegen:
  1. Abtastung des Signals (**Sampling**)
  2. Diskretisierung der Abtastwerte (**Quantisierung**)
  3. **Kodierung** der quantisierten Abtastwerte

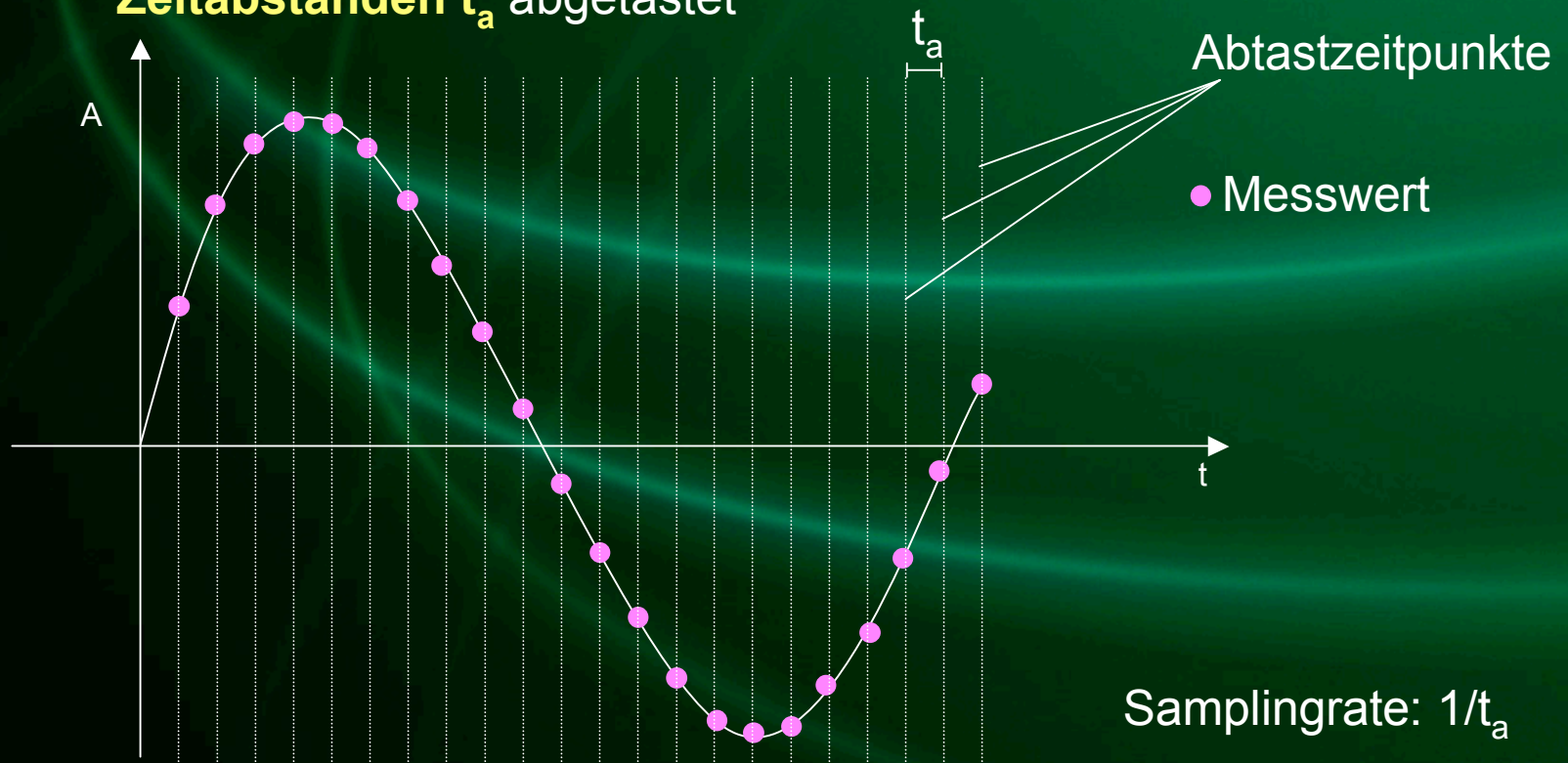


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

### ● Analog-Digital-Wandlung (2/7)

1. **Sampling:** das Signal wird periodisch in bestimmten Zeitabständen  $t_a$  abgetastet

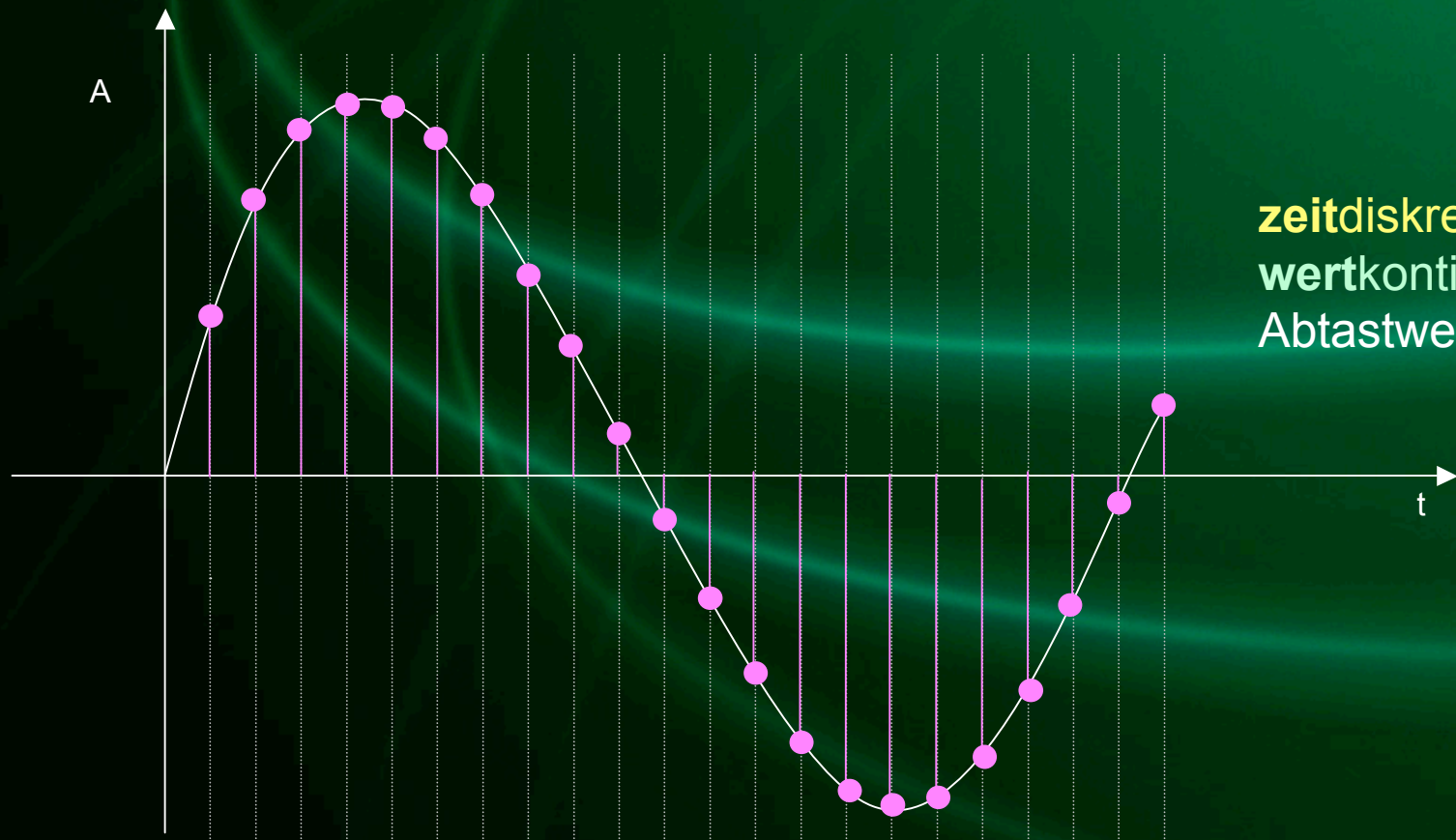




# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Analog-Digital-Wandlung** (3/7)



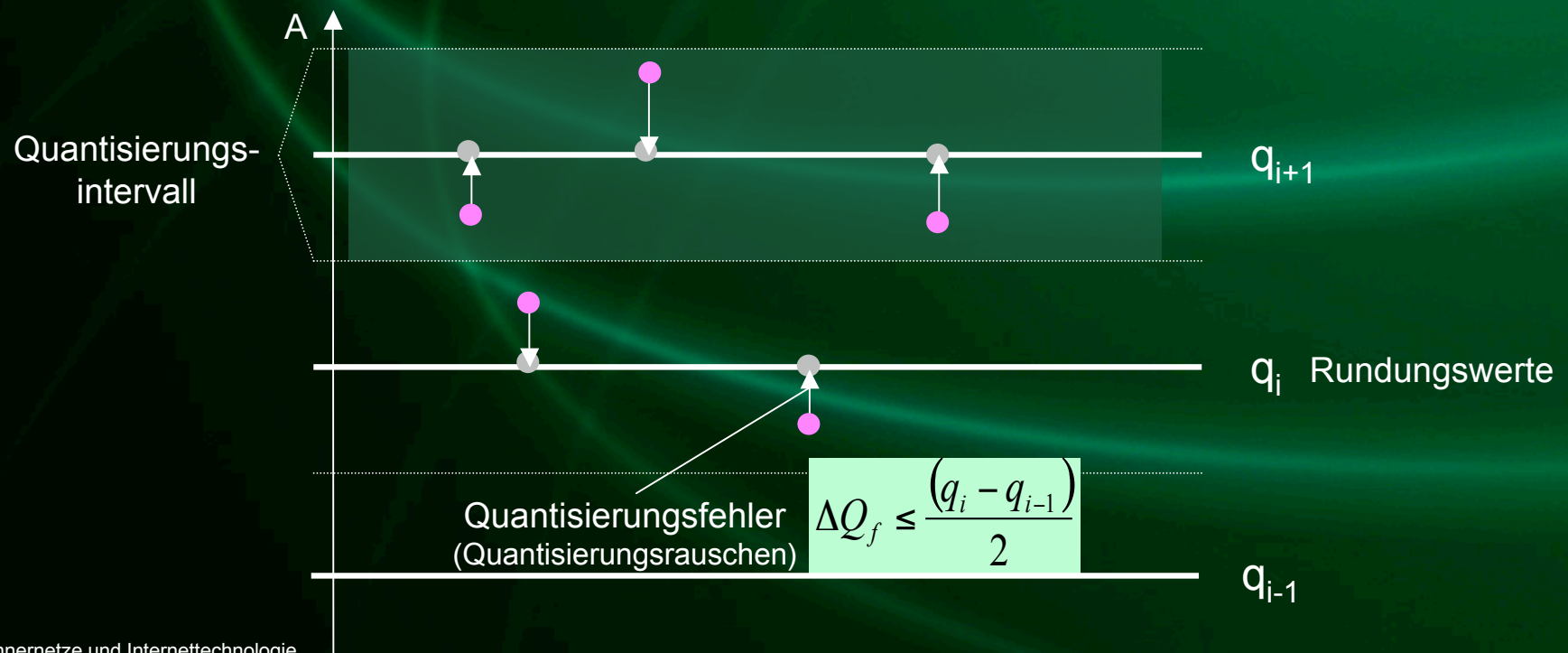
**zeitdiskrete**, aber  
**wertkontinuierliche**  
Abtastwerte

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Analog-Digital-Wandlung** (4/7)

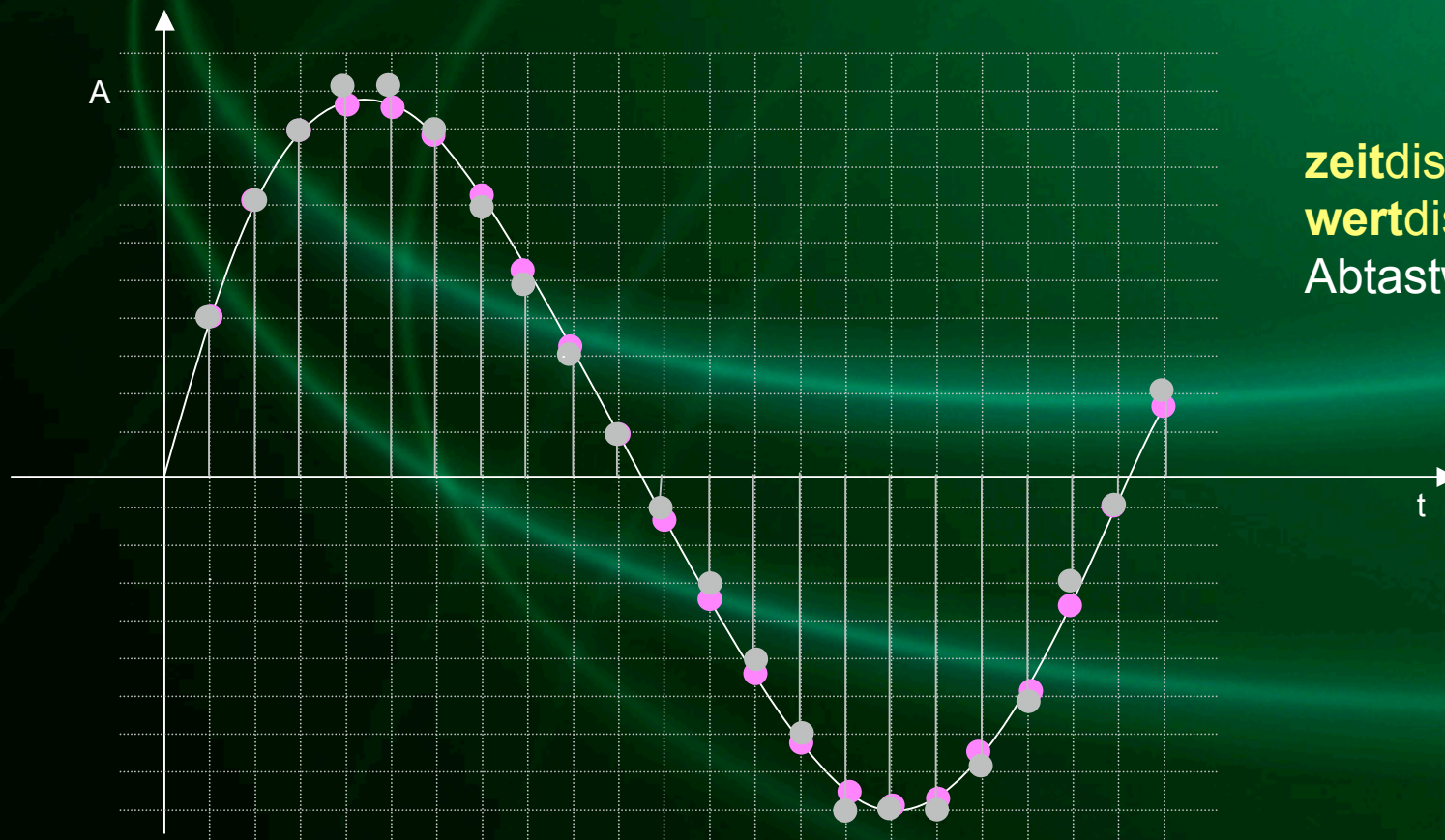
2. **Quantisierung:** Rundung der kontinuierlichen Abtastwerte auf diskrete Quantisierungspunkte



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Analog-Digital-Wandlung** (5/7)



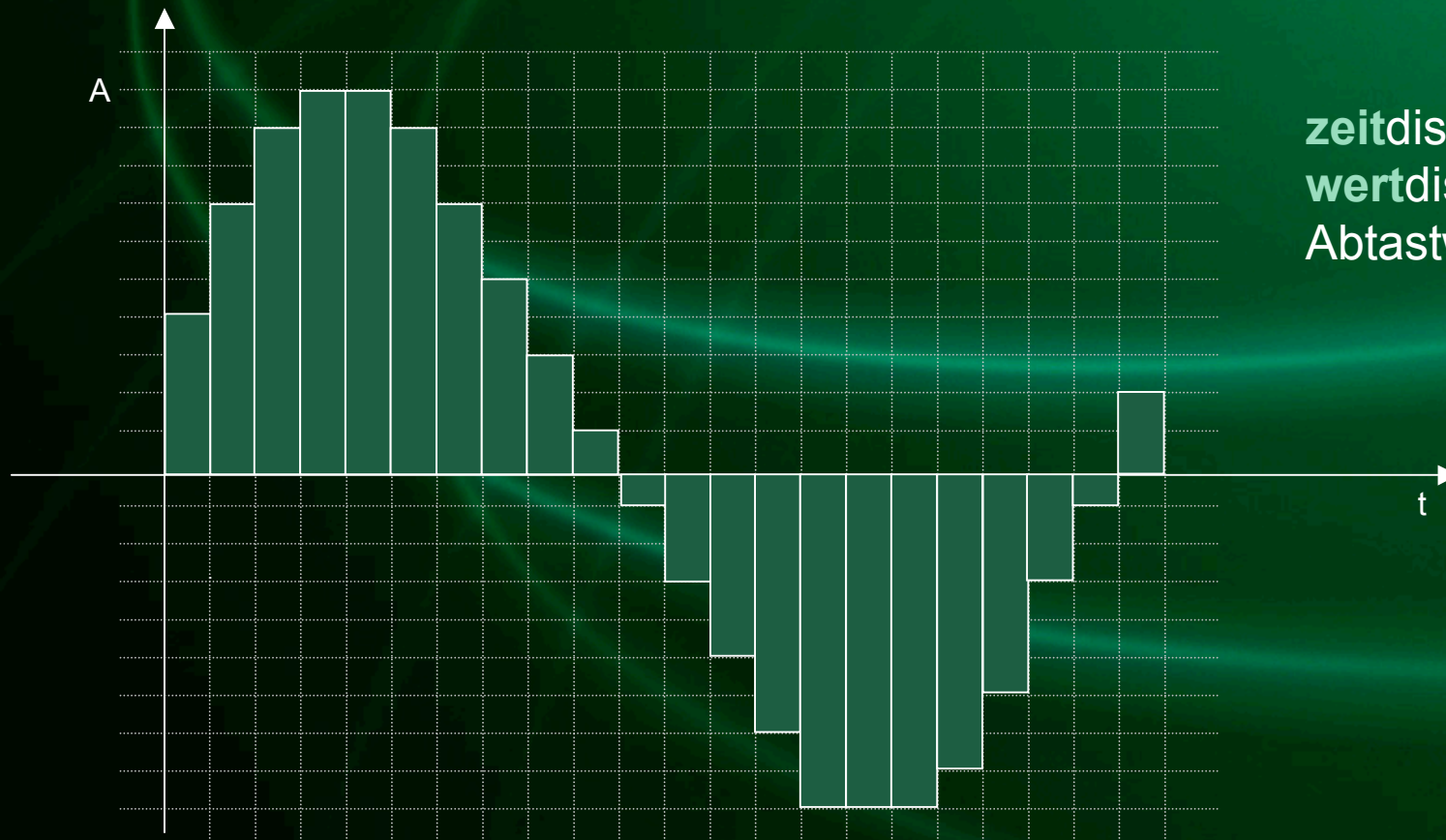
**zeitdiskrete und  
wertdiskrete  
Abtastwerte**



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Analog-Digital-Wandlung** (6/7)



zeitdiskrete und  
wertdiskrete  
Abtastwerte

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

---

- **Analog-Digital-Wandlung** (7/7)
  - **Klar soweit?**
    - **Problem:**
      - Wie viele Abtastpunkte? (*Samplingrate*)
      - Wie viele Quantisierungsintervalle? (*Samplingtiefe*)
    - **Ziel:**
      - Möglichst exakte Reproduktion des Ursprungssignals bei möglichst geringem Speicheraufwand

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

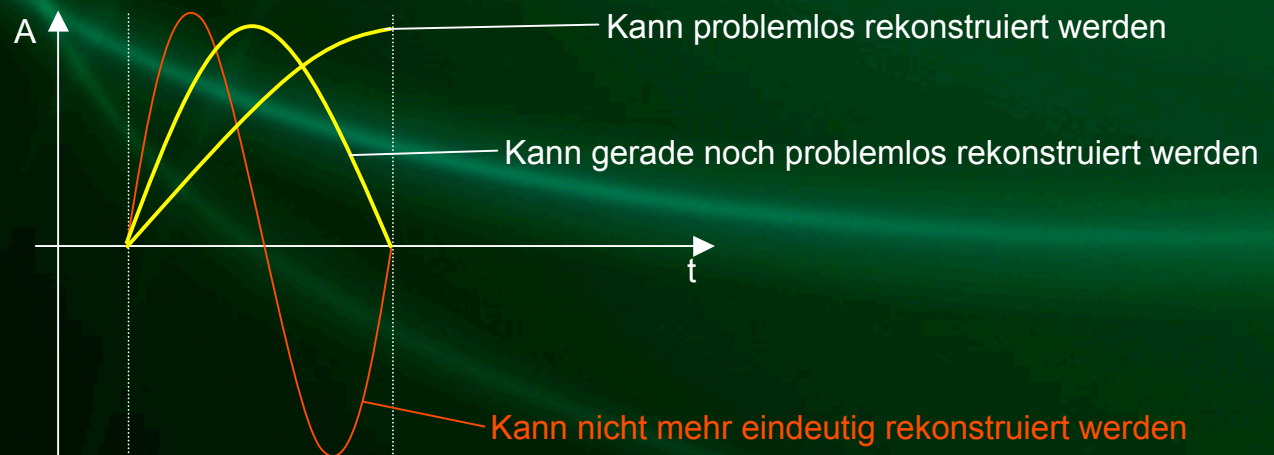
- **Abtasttheorem** (1/4)

- **Abtasttheorem** nach **Shannon**/Raabe/Nyquist/Kotelnikow

- Für jede Größe eines Samplingintervalls  $\Delta t$  gibt es eine bestimmte **kritische Frequenz  $f_a$**  (nyquist critical frequency), die die obere Grenze angibt, bis zu der Frequenzen abgetastet werden können
- Um eine Schwingung rekonstruieren zu können, werden **zwei Abtastpunkte innerhalb einer Schwingungsperiode** benötigt.



Claude E. Shannon  
(1916-2001)





# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

---

- **Abtasttheorem** (2/4)

- Ist vorab die **höchste** in einem Signal **vorkommende Frequenz** ( $f_a$ ) bekannt, kann ein optimales **Samplingintervall** ( $\Delta t$ ) bestimmt werden:

$$f_a \leq \frac{1}{2\Delta t}$$

- Daher folgt für die **Samplingrate**  $f_s$ :

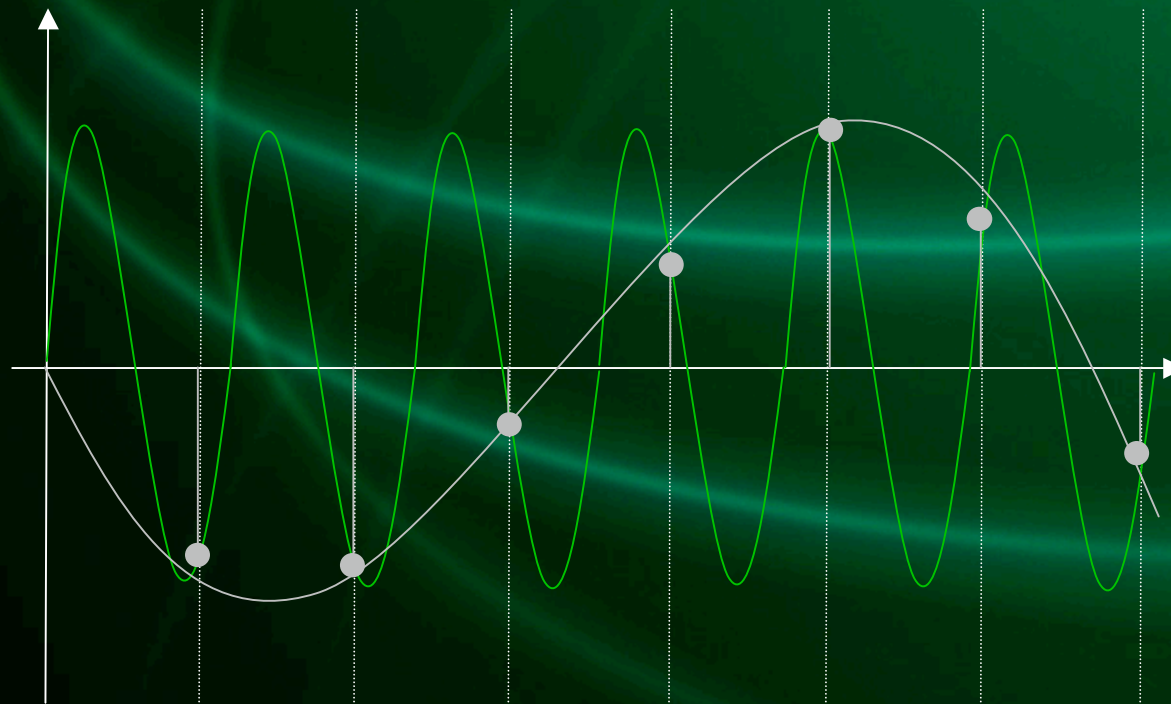
$$f_s \geq 2 \cdot f_a$$

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Abtasttheorem (3/4)**

- Bsp.: zu niedrige Samplingrate
  - Rekonstruktion nicht korrekt möglich, es entstehen hörbare Artefakte

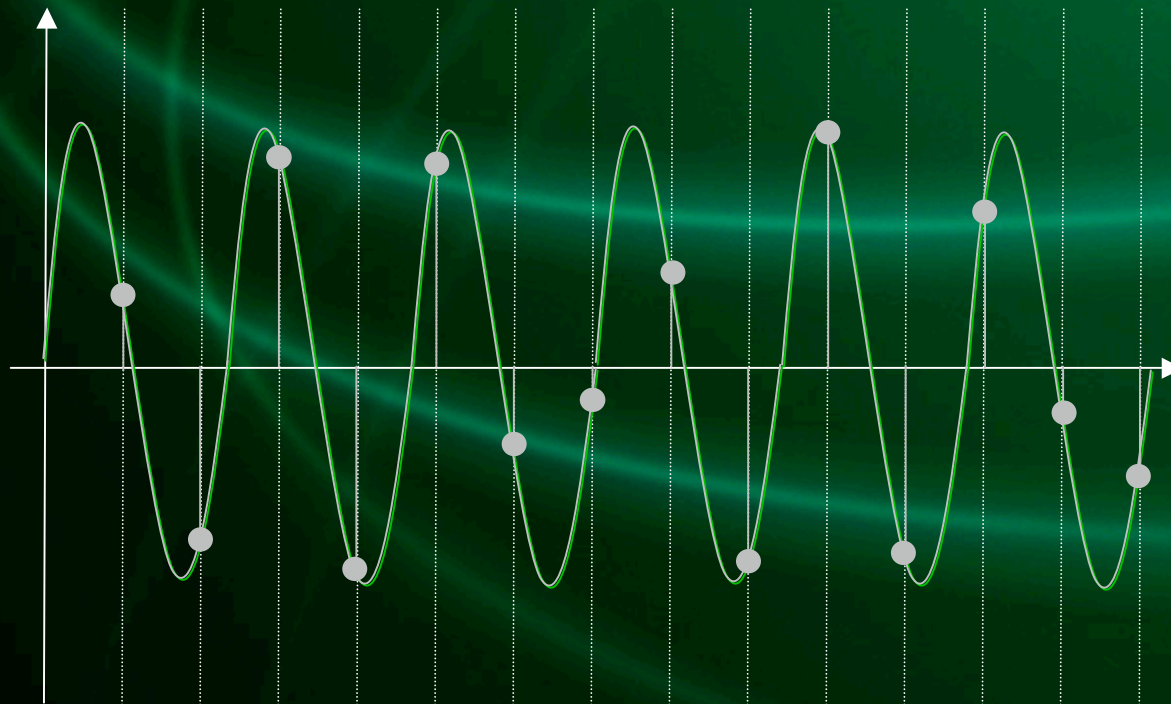


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Abtasttheorem (4/4)**

- Bsp.: ausreichende Samplingrate
  - Die Schwingung kann korrekt rekonstruiert werden



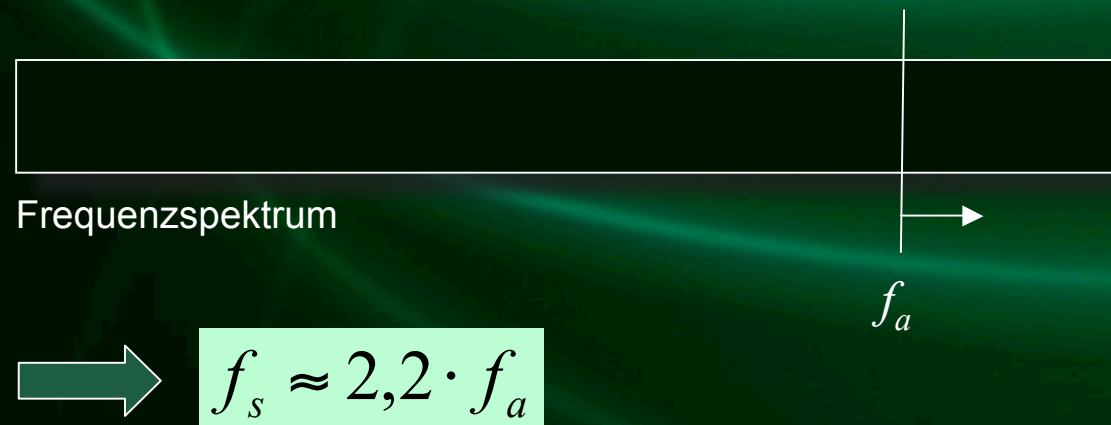


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Tiefpassfilterung**

- **in der Praxis** müssen daher Frequenzanteile jenseits der kritischen Nyquist-Frequenz ( $f_a$ ) durch einen **Tiefpassfilter** entfernt werden, da sonst störende **Artfakte** auftreten
- in der Praxis gibt es aber keinen „idealen“ Tiefpassfilter

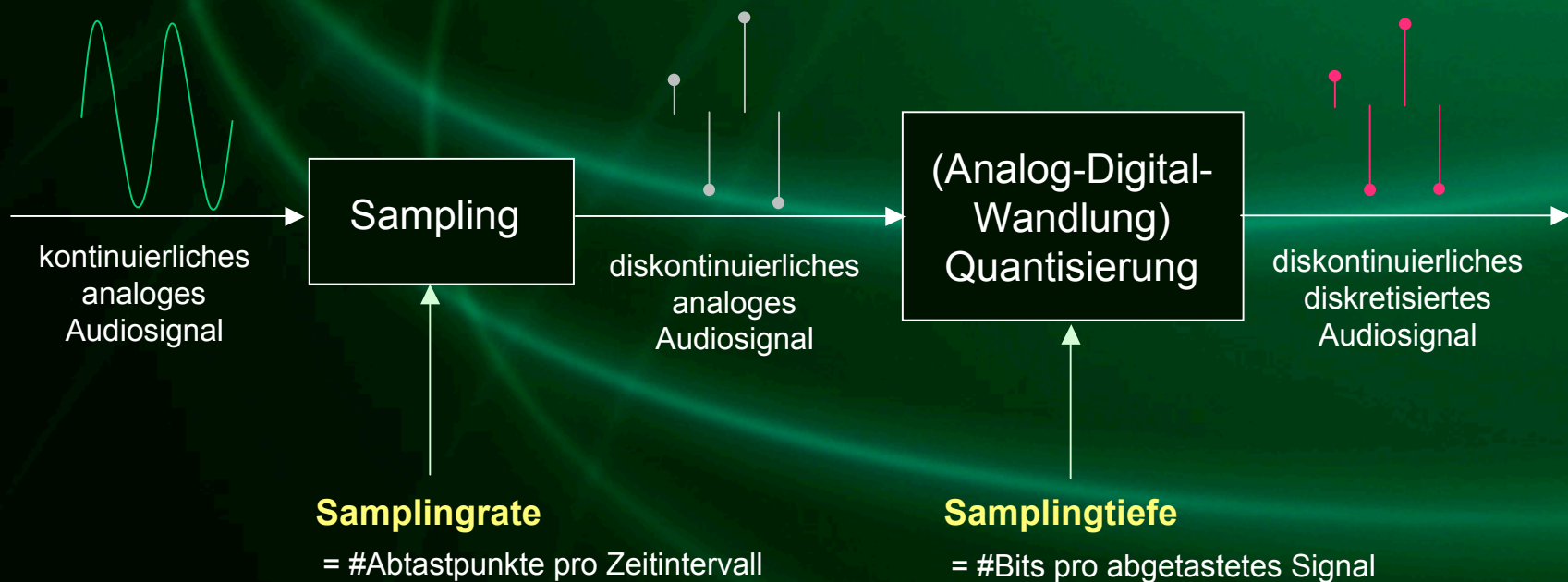


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Analog-Digital-Wandlung**

- Ablauf der Digitalisierung



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Sampling und Quantisierung**

- Bsp. für Audio-Kodierungsparameter

Typ	Frequenzen [Hz]	Samplingtiefe [Bit]	Samplingrate [Hz]	Kanäle
Telefon	200-3.400	8	8.000	1
Radio	50-11.000	8	22.050	2
CD	20-20.000	16	44.100	2
Studio	20-20.000	24	48.000	n

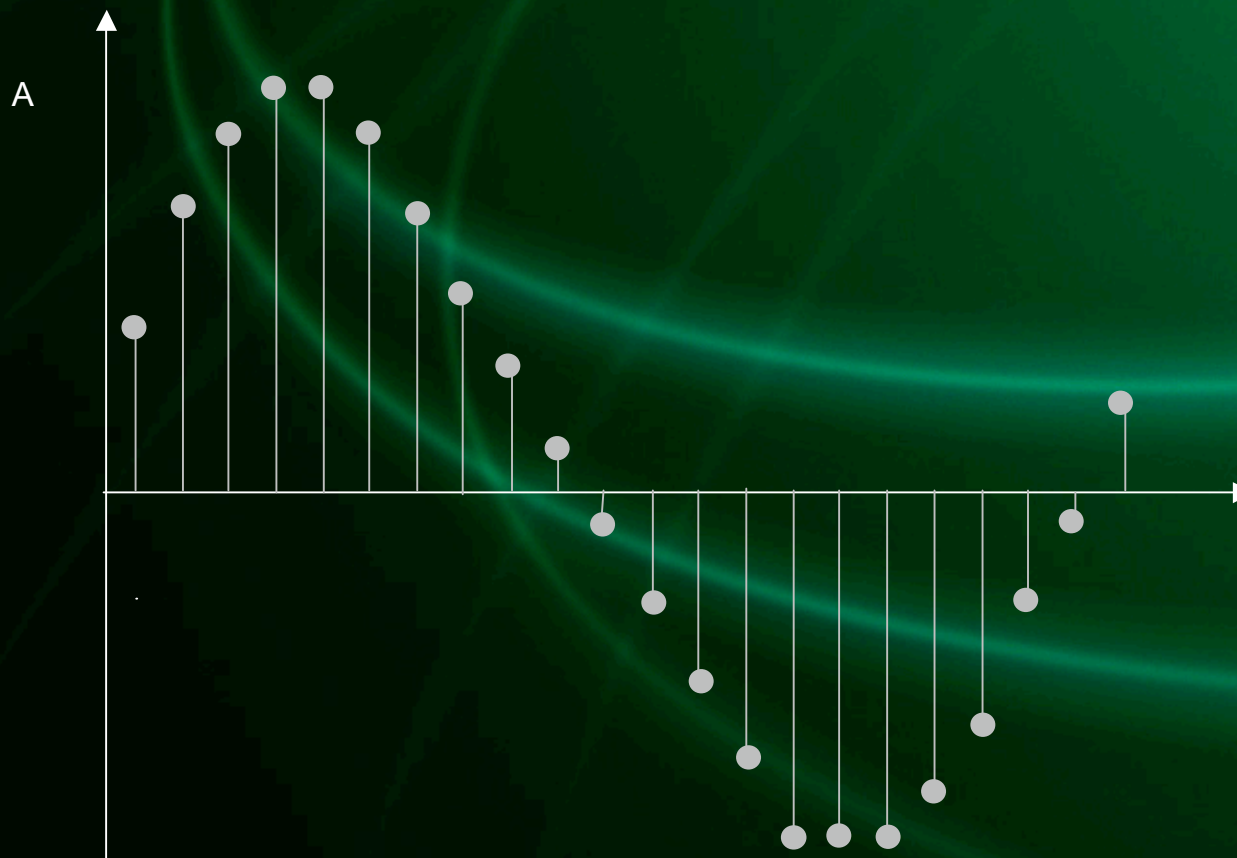


# Rechnernetze und Internettechnologien

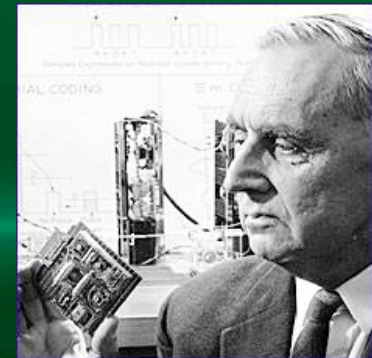
## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM)** (1/2)

- = Digitalisierung eines analogen Audiosignals



Pulse-Amplituden-  
moduliertes Signal



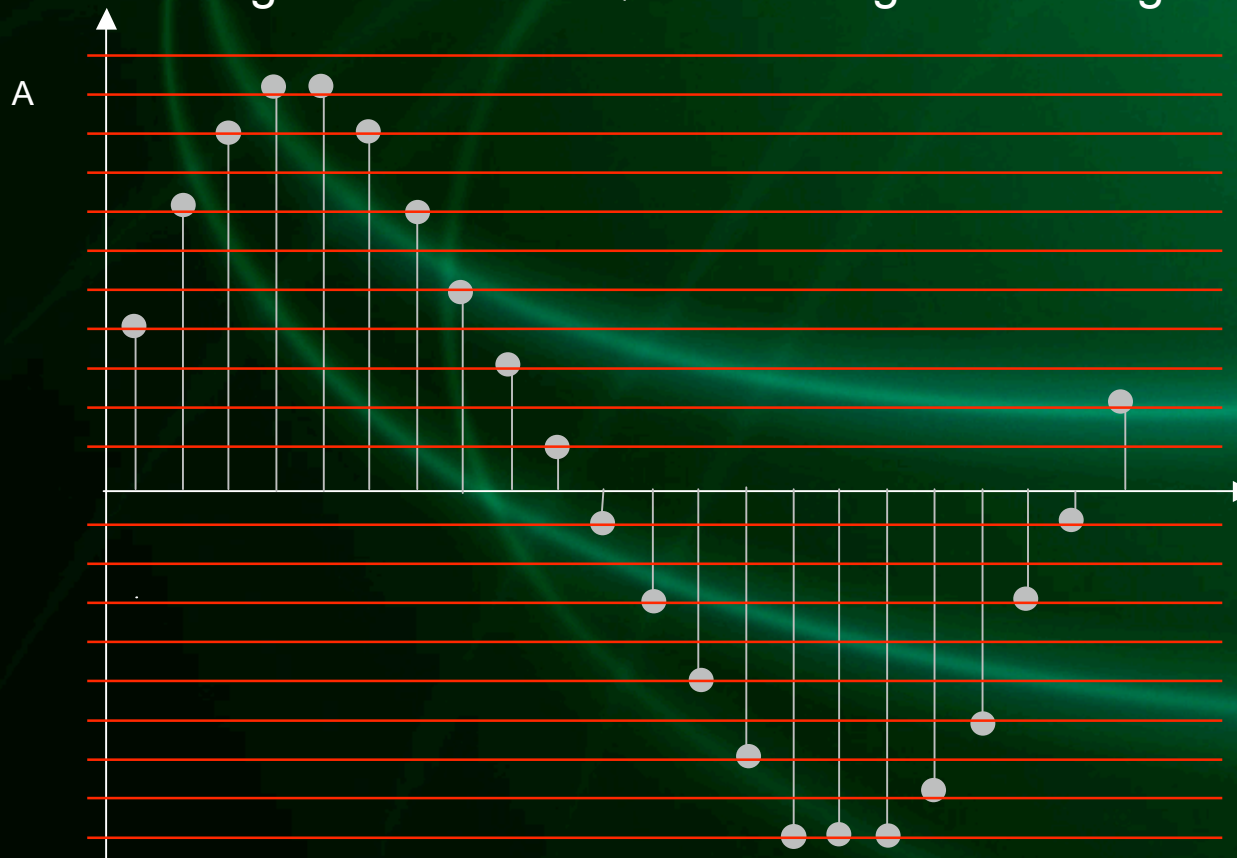
Alec A. Reeves  
(1902-1971)

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Pulse-Code Modulation (PCM) (2/2)**

- Wie groß sollen die Quantisierungsintervalle gewählt werden?



### Quantisierungsstufen

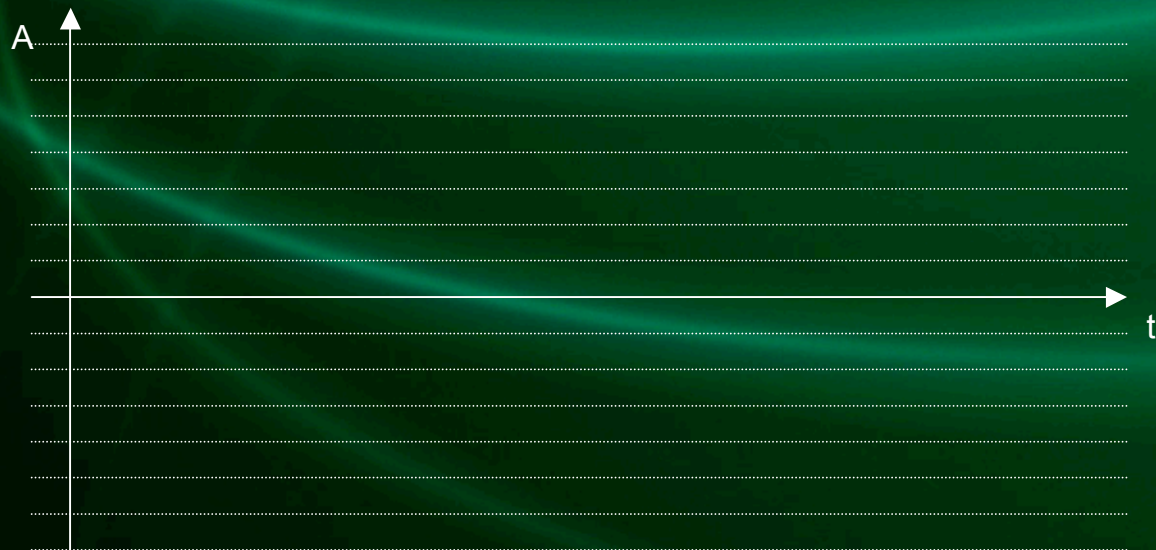
- n Stufen erfordern  $k \geq \log n$  Bits zur Kodierung

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

### ● Lineare PCM

- Die Signalamplitude wird in **gleich große Quantisierungsintervalle** unterteilt
  - + hohe Auflösung
  - + möglichst fehlerfreies Signal
  - hohe Datenrate notwendig



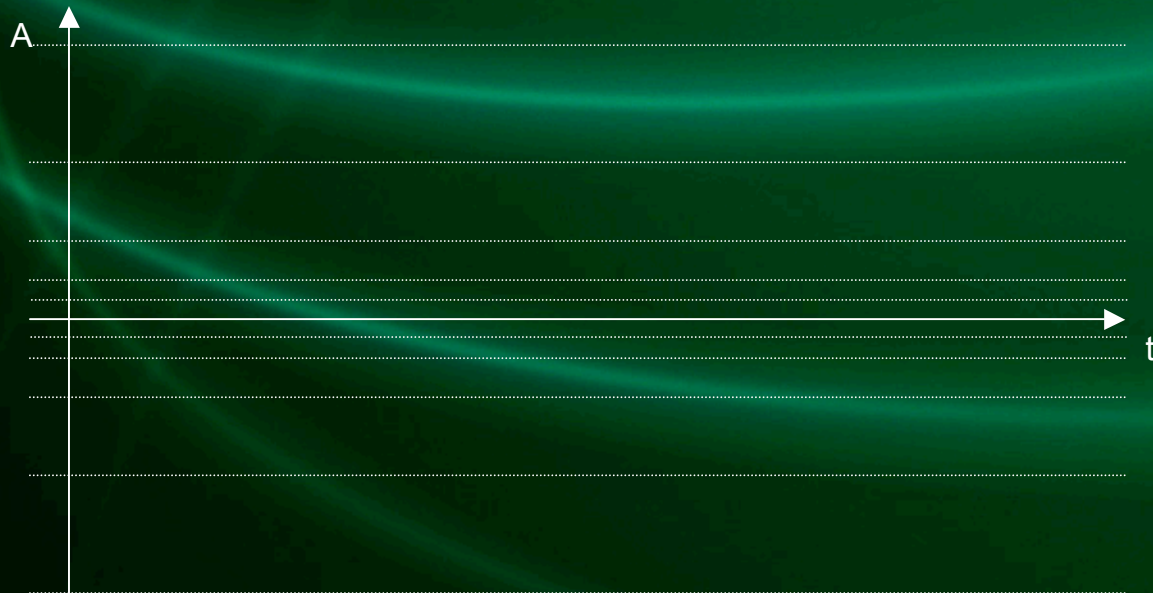


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Dynamische PCM**

- Die Signalamplitude wird in **unterschiedlich große Quantisierungsintervalle** (z.B. logarithmisch) aufgeteilt
  - entspricht menschlichem Hörempfinden
  - erlaubt kompaktere Kodierung (geringere Samplingtiefe)



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

---

- **Differentielle PCM (DPCM)**

- Unterschiede zwischen aufeinander folgenden Abtastwerten sind oft nur gering,
- daher ist eine Kodierung der **Differenzen** zwischen den aufeinander folgenden Abtastwerten effizienter.
- Feste **Referenzpunkte** mit exakter Kodierung des Signals notwendig
- **Adaptive DPCM**
  - Treffe **Vorhersage** zum nächsten Abtastwert
  - kodiere nur die **Differenz zwischen Vorhersagewert und tatsächlichem Signalwert**
  - zusammen mit Huffman-Kodierung erreicht man damit eine verlustfreie Audiokomprimierung im Verhältnis 1:2

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

---

- **Wie viel Audioinformation passt eigentlich auf eine CD?**

- Frequenzgang                      20-20.000 Hz
- Samplingrate                      44.100 Hz
- Stereo                              2 Kanäle
- Samplingtiefe                      16 bit
  
- 1 Minute Audioinformation in CD-Qualität:

$$\begin{aligned} 60\text{s} \cdot 44.100 \text{ 1/s} \cdot 16 \text{ bit} \cdot 2 &= 84.672.000 \text{ bit} \\ &= 10.584.000 \text{ Byte} \end{aligned}$$



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

---

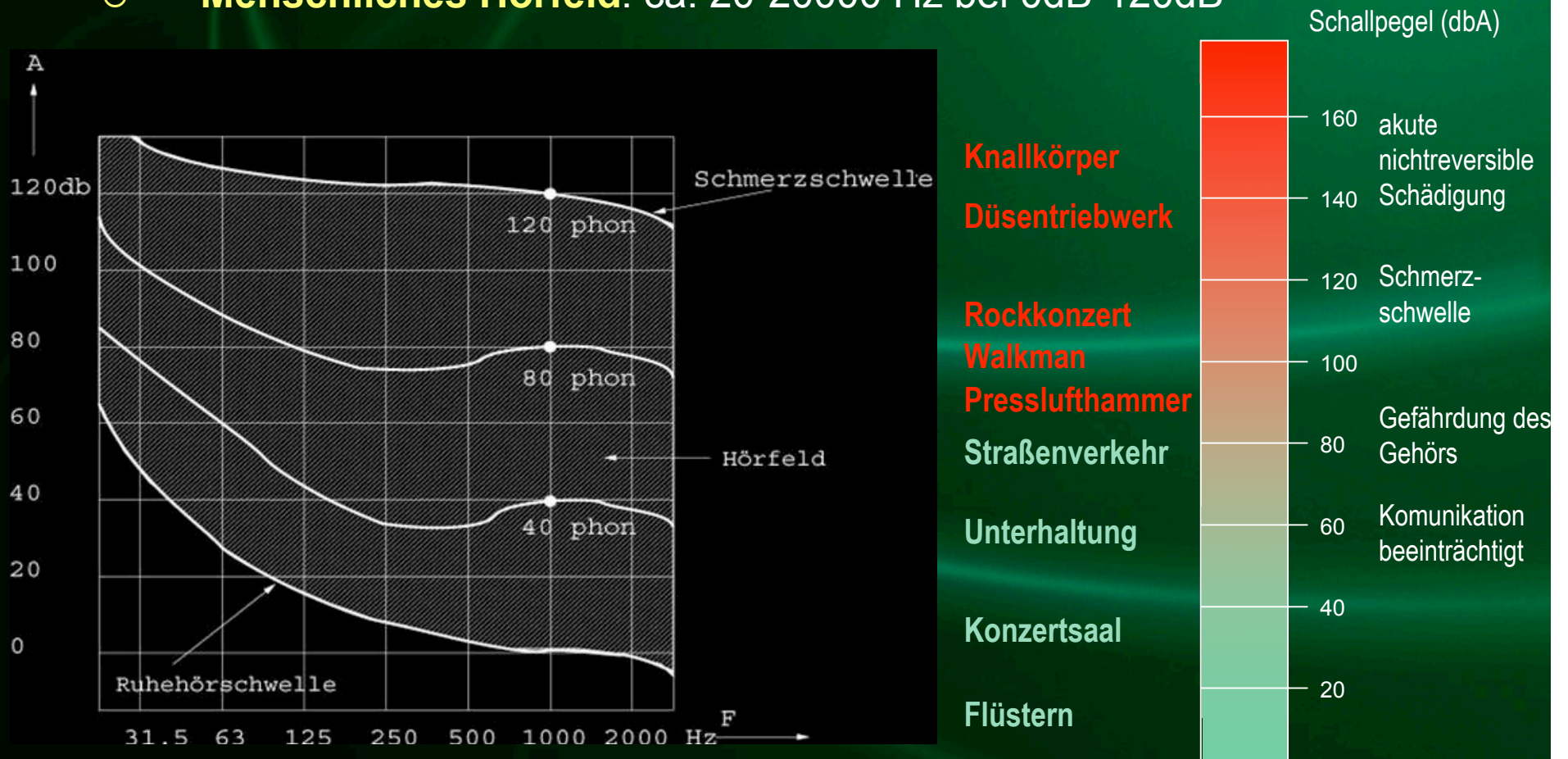
- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung** (1/2)
  - mit Huffman-Kodierung erreicht man eine **verlustfreie Audiokomprimierung im Verhältnis 1:2**
  - verlustfreie Komprimierung erlaubt exakte Rekonstruktion des Ursprungssignals
  - **Adaptive DPCM** nutzt **lineare Prediktion**
    - aus bereits vergangenen Signalwerten wird Vorhersagewert ermittelt
    - kodiert wird lediglich die Differenz zwischen Vorhersagewert und tatsächlichem Signal
  - **weitere Reduktion ist nur durch gezieltes Weglassen von Audioinformation möglich**
  - → nutze die Schwächen des menschlichen Wahrnehmungssystems aus

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Psychoakustik und menschliche Wahrnehmung (2/2)**

- **Menschliches Hörfeld:** ca. 20-20000 Hz bei 0dB-120dB

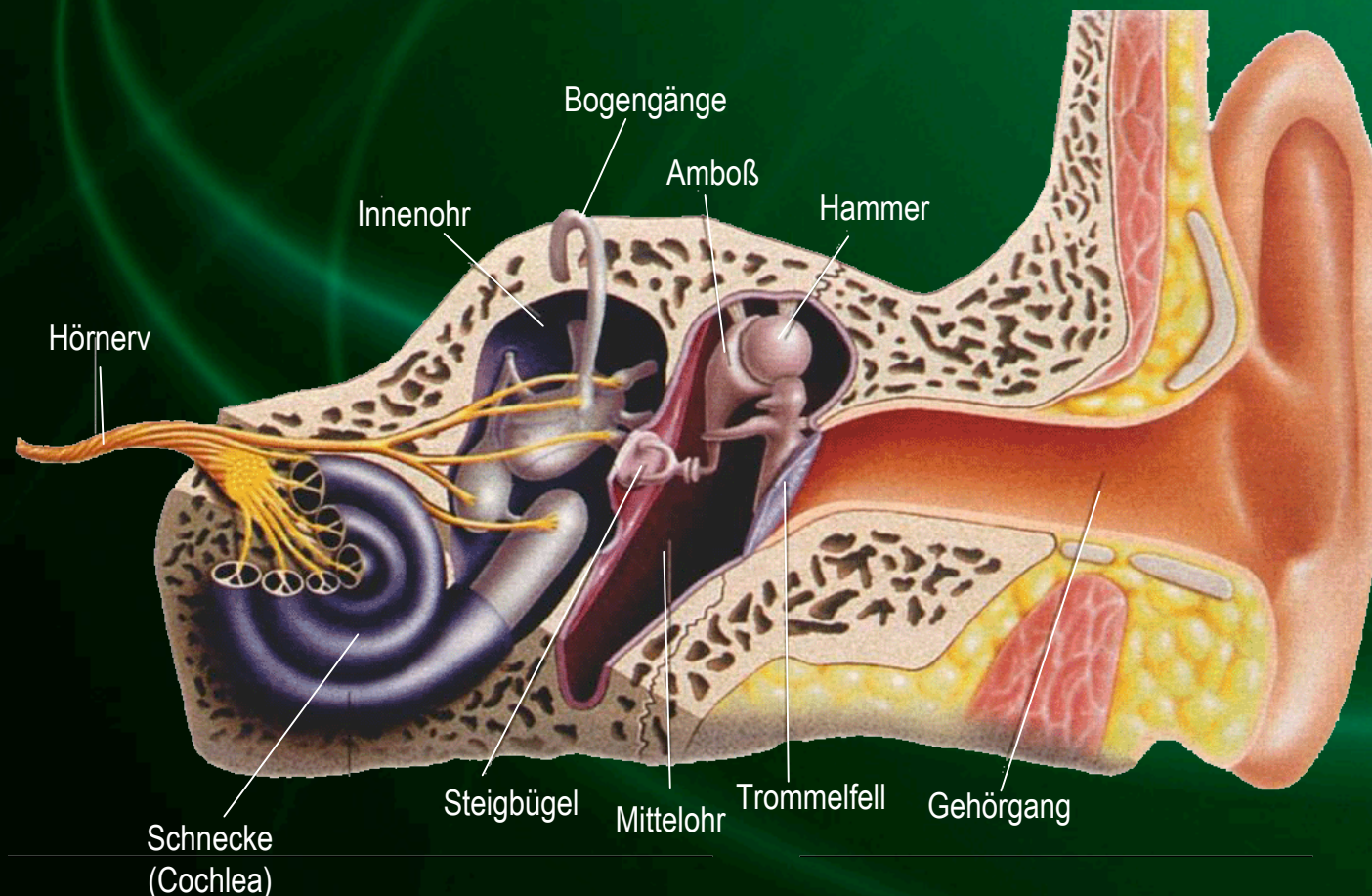




# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Menschliches Gehör (1/2)**



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

### ● **Menschliches Gehör** (2/2)

- **Außenohr:** Ohrmuschel, Gehörgang, Trommelfell
- **Mittelohr:** Gehörknöchel (Hammer, Amboss, Steigbügel)
  - Durch **Luftdruckschwankung** hervorgerufene Schwingung der Trommelfellmembran wird in **mechanische Schwingungen** umgewandelt
- **Innenohr:** ovales Fenster, Gehörschnecke (Cochlea), Hörnerv
  - Mechanische Schwingungen werden über ovales Fenster an Lymphflüssigkeit der **Cochlea** weitergegeben. Im Zentrum der Cochlea verläuft die **Basilarmembran** mit dem **Cortischen Organ**, das mit seinen **20.000 Haarzellen** von unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich stark gereizt wird. Die von den Haarzellen abgegebenen **bioelektrischen Impulse** werden vom **Hörnerv** aufgenommen und an das **Gehirn** weitergegeben
- Unterschiedliche Frequenzbereiche werden als unterschiedlich laut wahrgenommen (vgl. Hörfeld)





# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

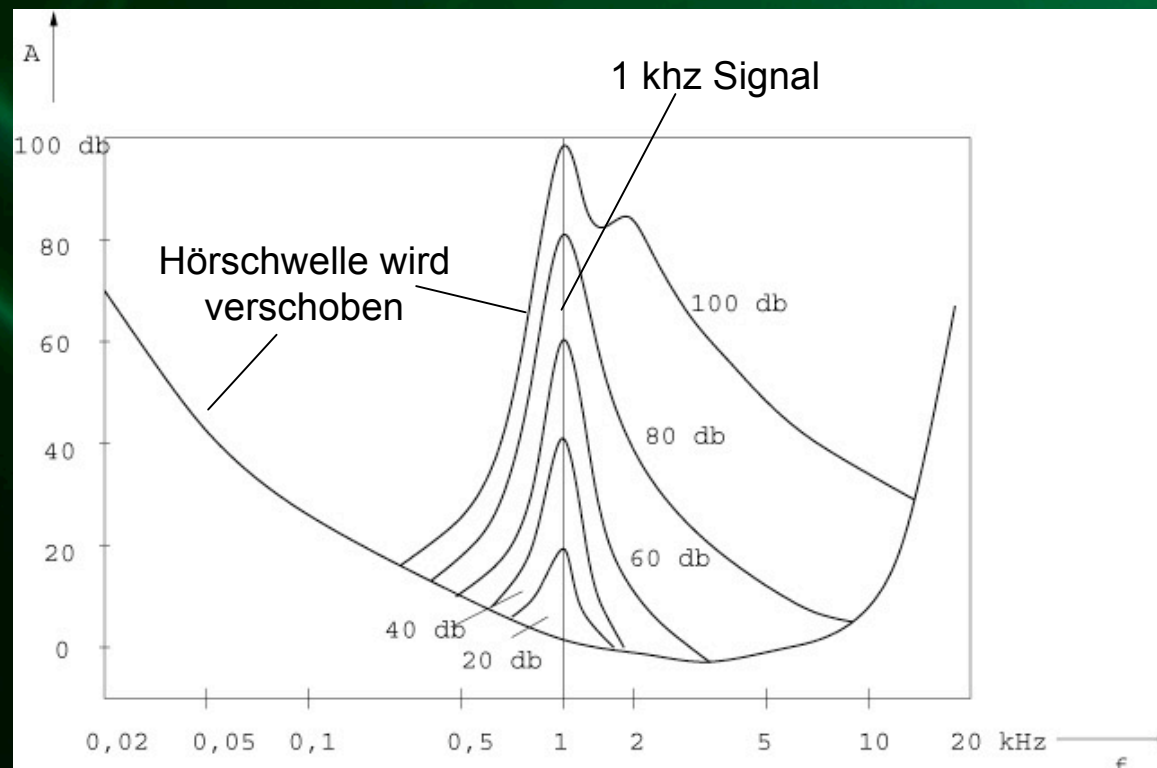
---

- **Ausnutzung der Psychoakustik zur Kodierung von Audioinformation**
  - kodiere nur Signale, die **im menschlichen Hörfeld** liegen
  - auch innerhalb des Hörfeldes müssen nicht alle Signale kodiert werden
    - **Simultane Verdeckung:**  
starkes (lautes) Signal verdeckt (maskiert) gleichzeitiges schwaches (leises) Signal
    - **Temporäre Verdeckung:**  
starkes Signal verdeckt schwaches Signal nicht nur zeitgleich, sondern wirkt
      - für gewisse Zeit nach (bis 200 ms)
      - sogar einige Zeit vor (bis 50 ms, liegt an der Trägheit des Hörvorganges)

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

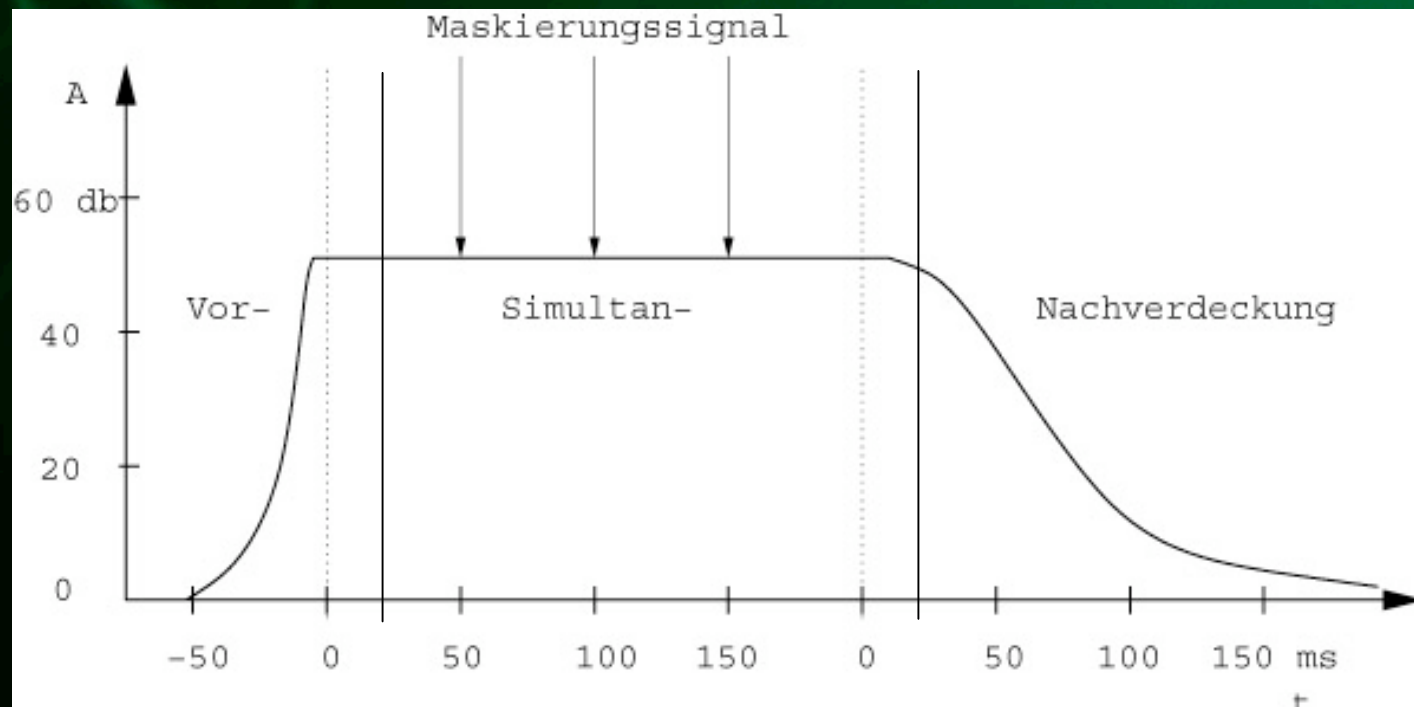
- **Simultane Verdeckung:**  
starkes (lautes) Signal verdeckt (maskiert) gleichzeitiges schwaches (leises) Signal



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Temporäre Verdeckung:**  
starkes Signal verdeckt schwaches Signal nicht nur zeitgleich, sondern wirkt nach bzw. sogar vor



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

---

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung** (1/5)
  - **MPEG 1 – Layer 3**
    - Motion Pictures Expert Group - **MP3 = MPEG 1 - Layer 3**
    - Standard für Video Compact Disc (VCD)
    - entwickelt vom Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltkreise in Erlangen mit AT&T Bell Labs und Thompson (ab 1987)
    - basiert auf **Subband-Coding** mit eigenem **psycho-akustischen Modell**
    - ISO-Standard
      - standardisiert lediglich Dekoder und Datenformat
      - Kodierer nicht standardisiert
    - MP3-Datei besitzt keinen expliziten Header, sondern ist eine Aneinanderreihung einzelner Datenblöcke mit jeweils eigenem Header + Audioinformationen (→ **Streaming**)



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

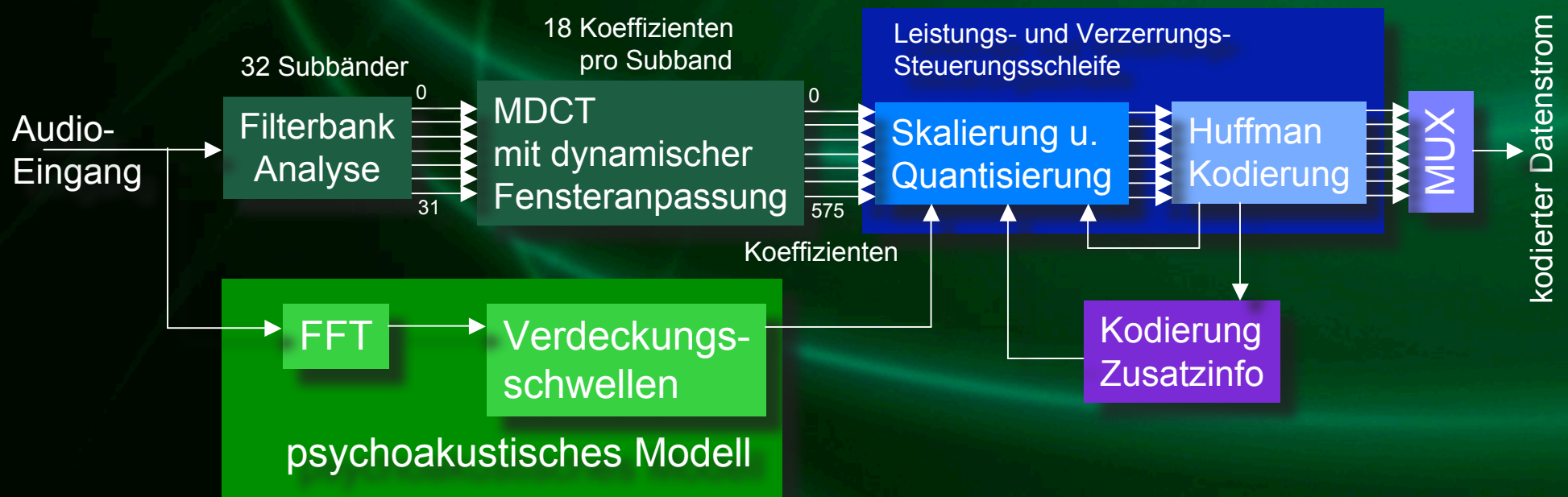
---

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung (2/5)**
  - **Predictive Coding**
    - Wissen über bereits kodierte Signal wird zur Vorhersage des Folgesignals benutzt (nur Differenz wird kodiert)
  - **Spektral-/Transform Coding**
    - Fourier-Transformation des Wellensignals (Überführung von Ortsraum in Frequenzraum)
  - **Sub-Band Coding**
    - psycho-akustisches Modell
    - Audio-Spektrum wird in Frequenzbänder aufgeteilt (fast alle Bänder haben gegenüber dem lautesten Band weniger relevante Information)

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung (3/5)**
  - **MP3-Kodierung**



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

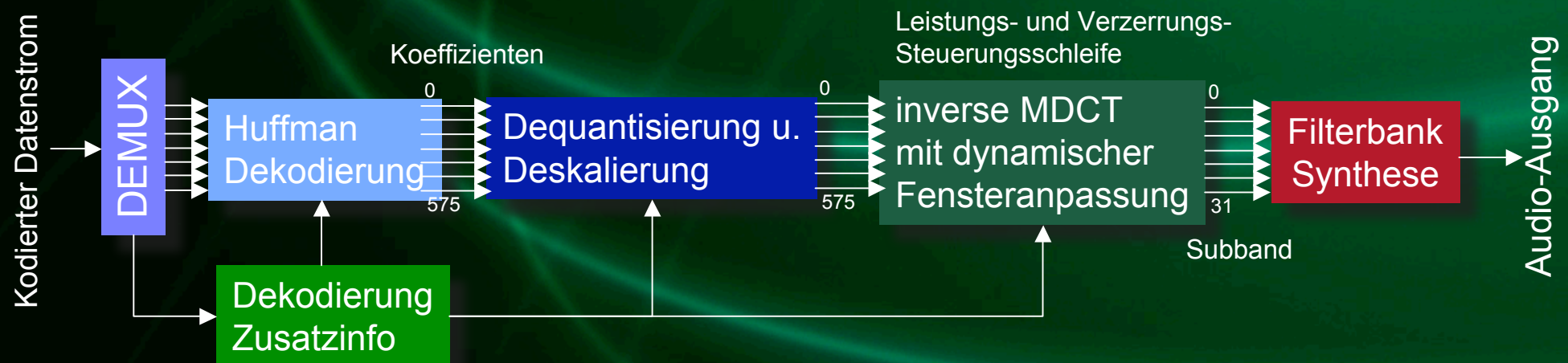
---

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung (4/5)**
  - **Kodierung der Stereokanäle**
    - Menschliches Gehör ist nicht in der Lage, Richtungs-  
informationen bei sehr niedrigen/hohen Frequenzen zu  
gewinnen
    - **Intensity Stereo**  
Kodiere bestimmte Frequenzbereiche nur mono,  
versehe diese mit „Richtungsinformation“ aus den anderen  
Frequenzbändern
    - **Mid/Side-Stereo**  
Sind linker (L) und rechter Kanal (R) sehr ähnlich, übertrage  
(L+R) und (L-R) anstelle (L) und (R)

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

- **Verlustbehaftete MP3-Audio-Komprimierung (5/5)**
  - **MP3-Dekodierung**

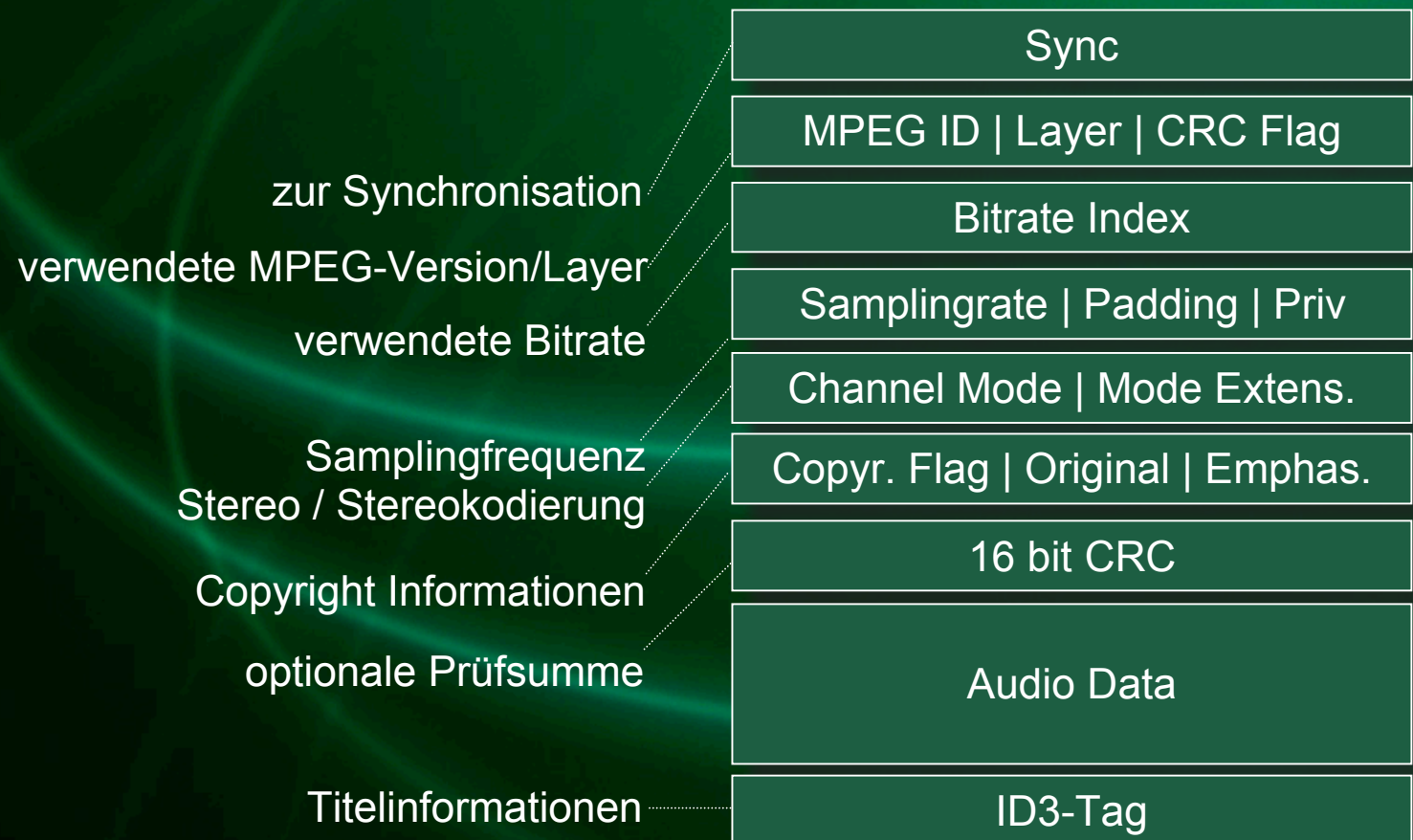




# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

### ● MP3-Dateiformat



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.6 Audiokodierung und -komprimierung

---

- **MPEG 2 AAC (Advanced Audio Coding)**

- Verbesserte Vorhersagealgorithmen
- bis zu 48 reguläre Kanäle + 16 Niedrigfrequenzkanäle
- Samplingraten bis zu 96 kHz
- Fenstergröße bis zu 2048 Samples  
(verbesserte zeitliche Auflösung/Frequenzauflösung)
- Temporal Noise Shaping  
(Steuerung des Quantisierungsrauschens)
- Qualität wie MP3 bei lediglich 70% der benötigten Bitrate

- **MPEG 4 AAC**

- Speziell für **Mobile Computing** und Sprachübertragung
- ab 4 kbps verständliche Sprachübertragung
- Perceptual Noise Substitution (PNS) und Long Term Prediction (LTP)

# Rechnernetze und Internettechnologien

---

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer

2.5 Grafikkodierung und -komprimierung

2.6 Audiokodierung und -komprimierung

2.7 Videokodierung- und komprimierung

2.7.1 Videotechnik und Videokomprimierung

2.7.2 MPEG Videokomprimierung

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

---

- **Grundlagen (1/2)**

- **Video (Film):**  
kontinuierliche Abfolge von aufeinander folgenden Einzelbildern, die aufgrund der **Netzhautträgheit** des Menschen als zusammenhängende, bewegte Sequenz erscheint.
- **Netzhautträgheit:**  
das von der Netzhaut (Retina) wahrgenommene Bild bleibt für 1/16s auf dieser bestehen, ehe es verlischt
- Kodierung einer Video(Film)sequenz erfordert **sehr viel Speicherplatz**
- Bild und Ton müssen **synchron** ablaufen
  - erfordert hohe Bandbreite



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

---

- **Grundlagen (2/2)**

- **Wahrnehmung von Bewegung**

- komplexe Funktion der menschlichen Sensorik
- abhängig von

- **Physiologischen Faktoren**

- Beeinflussung benachbarter Lichtsinneszellen in der Retina
- Foveale Objektverfolgung (Nachführung des Auges)
- Vergenz und Akkomodation

- **Psychologischen Faktoren**

- Elimination gleichförmiger Bewegung durch das Gehirn
- Koppelung von Bewegung und Beschleunigungswahrnehmung (Gleichgewichtsorgan)

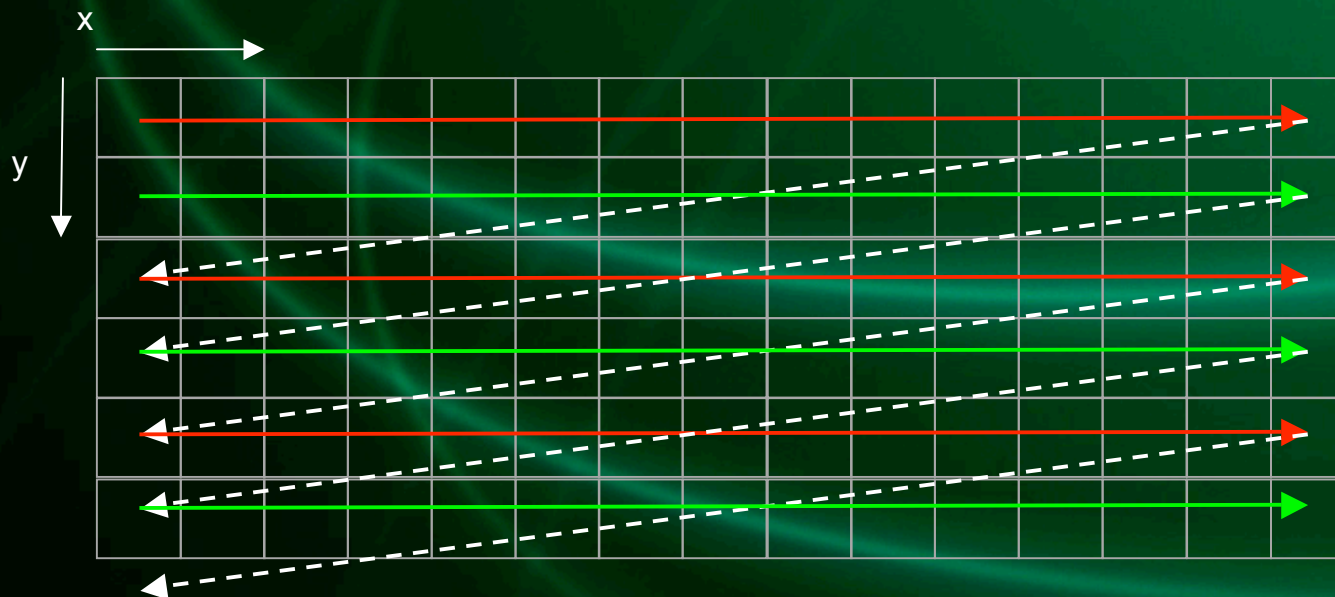
# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Videotechnik** (1/6)

- **Analoge Videotechnik**

- zeilenweise Abtastung von Einzelbildern



- Serialisierung der Bildpunkte im Zeilensprungverfahren (**Interlacing**)

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Videotechnik** (2/6)

- **Analoge Videotechnik**

- **Farbfernsehen – PAL**

- **PAL** (Phase Alternation Line, Europa) sendet mit **Bildwiederholfrequenz** von 25 Hz und einer **Bildauflösung** von 720x576 Pixeln, wobei 2 gegenseitig verschränkte Halbbilder mit im Takt von jeweils 1/50s gesendet werden

gerade Zeilen



1/50s

+

ungerade Zeilen



1/50s

=

PAL interlaced



1/25s

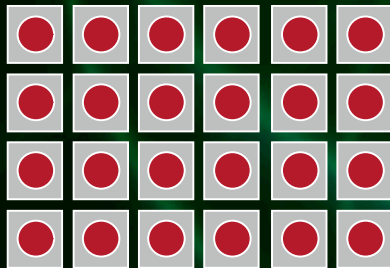


# Rechnernetze und Internettechnologien

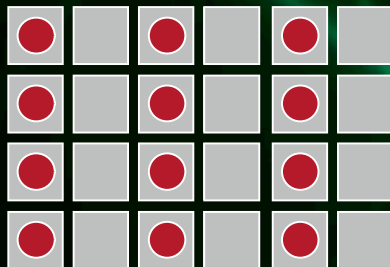
## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Videotechnik** (3/6)

- **Subsampling**



4:4:4 – kein Subsampling



4:2:2 – horizontales Subsampling um Faktor 2



Luminanzpixel



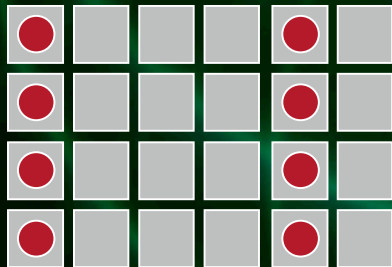
Chrominanzpixel

# Rechnernetze und Internettechnologien

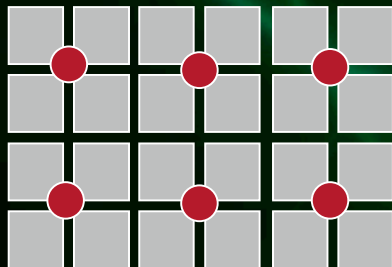
## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Videotechnik** (5/6)

- **Subsampling**



4:1:1 – horizontales Subsampling um Faktor 4



4:2:0 – horizontales und vertikales Subsampling um Faktor 2



Luminanzpixel



Chrominanzpixel

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Videotechnik** (5/6)

- **PAL – benötigte Bandbreite**

- Bildauflösung: 720 x 576 Pixel
- Bildwiederholfrequenz: 25 Hz
- Farbtiefe: 8 Bit
- Subsampling: 4:2:2
- Benötigte Bandbreite:

$$720 \times 576 \times 25 \times 8 + 2 \times (360 \times 576 \times 25 \times 8) = 166 \text{ Mbps}$$

Luminanzpixel

Chrominanzpixel



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Videotechnik** (6/6)

- **HDTV – High Definition Television**

- Bildauflösung: z.B. 1920 x 1080 Pixel
    - Bildwiederholfrequenz: bis 60 Hz
    - Farbtiefe: 8 Bit
    - Subsampling: 4:2:2
  - Benötigte Bandbreite (Beispiel):

$$\begin{array}{ccc} 1920 \times 1080 \times 60 \times 8 & + 2 \times (960 \times 1080 \times 60 \times 8) & = \underline{1,99 \text{ Gbps}} \\ | & | & \\ \text{Luminanzpixel} & \text{Chrominanzpixel} & \end{array}$$

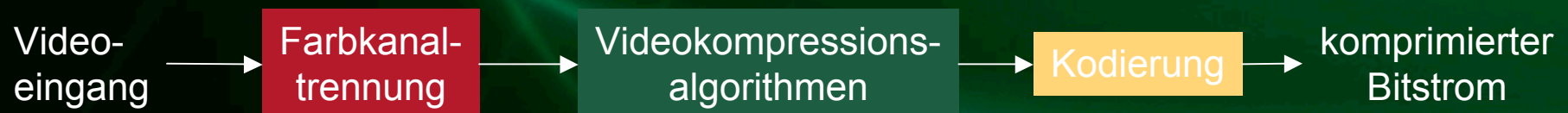
# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Komprimierung von Videosignalen (1/2)**

- **Grundlagen**

- Videosequenzen enthalten in der Regel viel Redundanz
  - **räumliche** Redundanz
  - **zeitliche** Redundanz
- starkes Reduktionspotenzial für Videokodierung
- allgemeines Vorgehen:

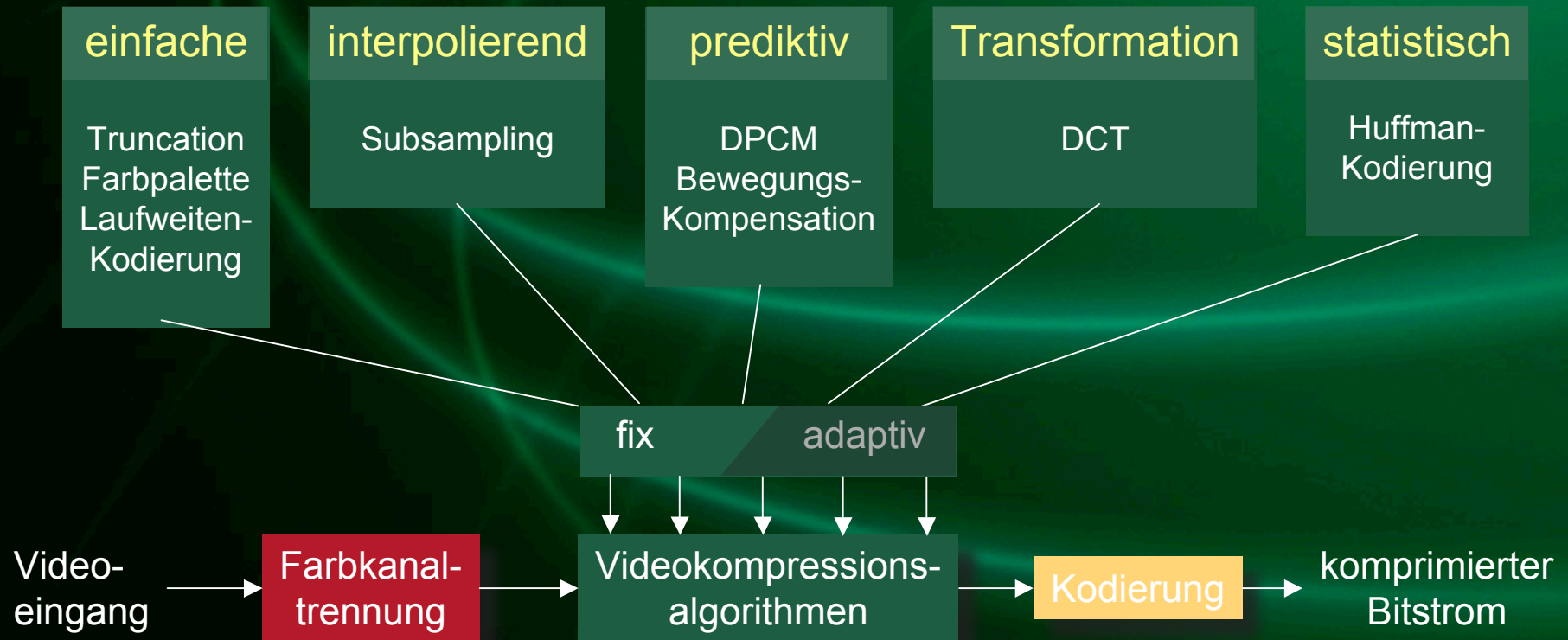


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Komprimierung von Videosignalen (2/2)**

- **Grundlagen**





# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Interpolative Verfahren (1/2)**

- Speichere nur eine **Teilmenge** der vorgegebenen Bildpunkte und berechne daraus interpolativ die restlichen Bildpunkte, die zum vollständigen Bild noch fehlen
- Effizient auf Videosequenz anwendbar, da
  - viele Bildbereiche verändern sich über lange Zeit kaum



Hintergrund weitgehend statisch

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Interpolative Verfahren (2/2)**

- Effizient auf Videosequenz anwendbar, da

- viele Bildbereiche verändern sich über lange Zeit kaum
- oft bewegen sich nur wenige Bildobjekte, daher speichere **Anfangs- und Endpunkt** der Bewegung, **interpoliere die Zwischensequenz**

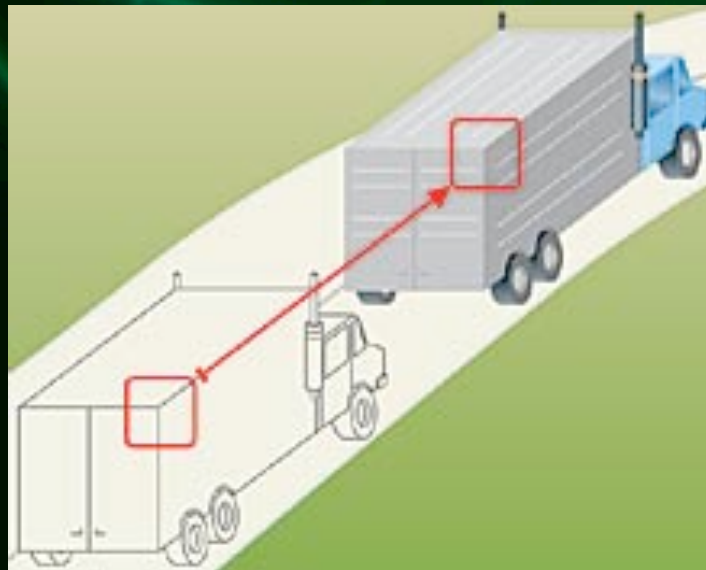
- Komprimierung kann auch erfolgen durch Speicherung der **Differenz** vom Originalbild zum interpolierten (berechneten) Bild



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Prediktive Kodierung** (1/2)
  - Ausnutzung von inhärenten Redundanzen in Videosequenzen
    - z.B. Hintergrund statisch, nur ein Objekt im Vordergrund bewegt
    - **Objekte** und **Objektbewegungen** müssen erkannt werden





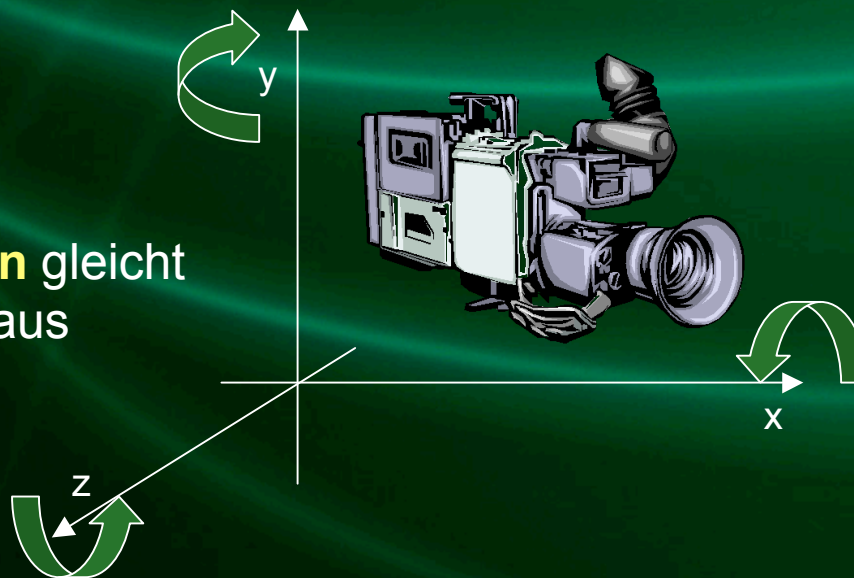
# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Prediktive Kodierung (2/2)**

- Ursache für Bildveränderungen in Videosequenzen sind oft **Bewegungen der Kamera**
  - Geradlinige Bewegungen der Kamera (**Translation**)
  - Kameranachwenk (**Rotation**)
  - Einsatz von Zoomobjektiven (**Skalierung**)

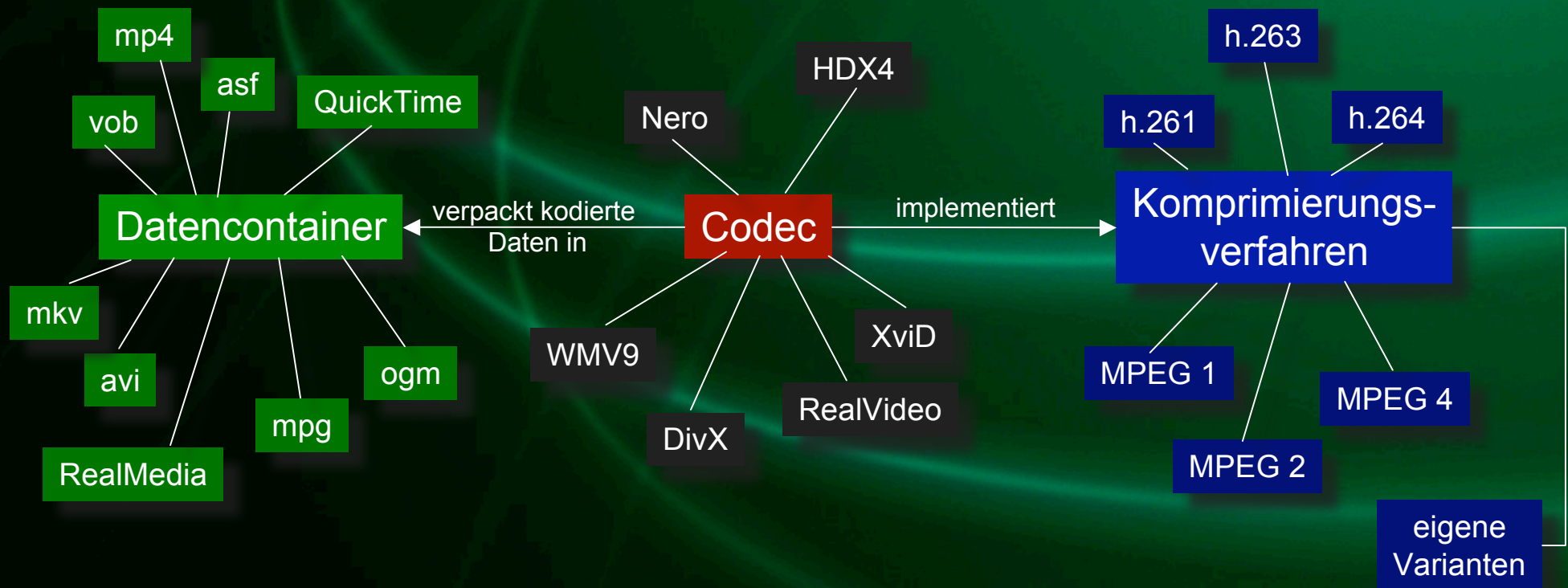
**Bewegungskompensation** gleicht Bewegungen der Kamera aus



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **Videokomprimierung nach MPEG (1/2)**
  - **Codecs und Komprimierungsverfahren**



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

---

- **Videokomprimierung nach MPEG (2/2)**
  - **MPEG - Moving Pictures Experts Group**
    - eigentlich ISO/IEC JTC1/SC29/WG11
    - seit 1988, ca. 360 Mitglieder aus Industrie/Forschung
  - **MPEG-1 Standard 1992**
    - VCD, MP3-Audiokomprimierung
    - Datenrate 1,5 Mbps erfordert Komprimierung von >100:1
  - **MPEG-2 Standard 1995**
    - Digitalfernsehen (DVB), DVD
    - MPEG-3 Standard in MPEG-2 integriert (HDTV)
  - **MPEG-4 Standard 1999**
    - Interaktives Audio und Video über drahtlose Netze und Internet
    - HDTV, DRM, komplexe Objektverwaltung

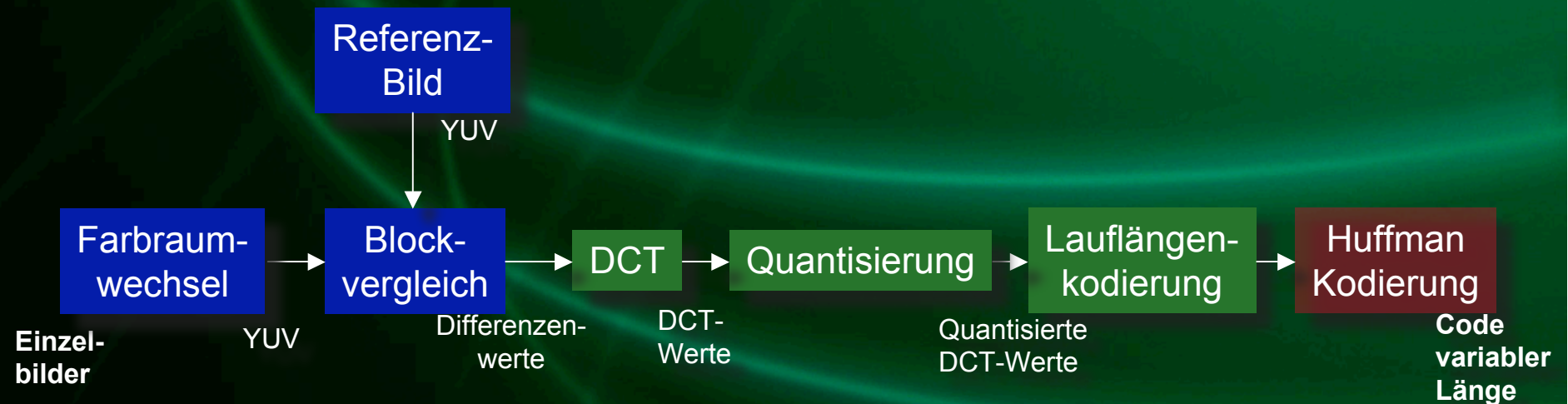


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung (1/11)**

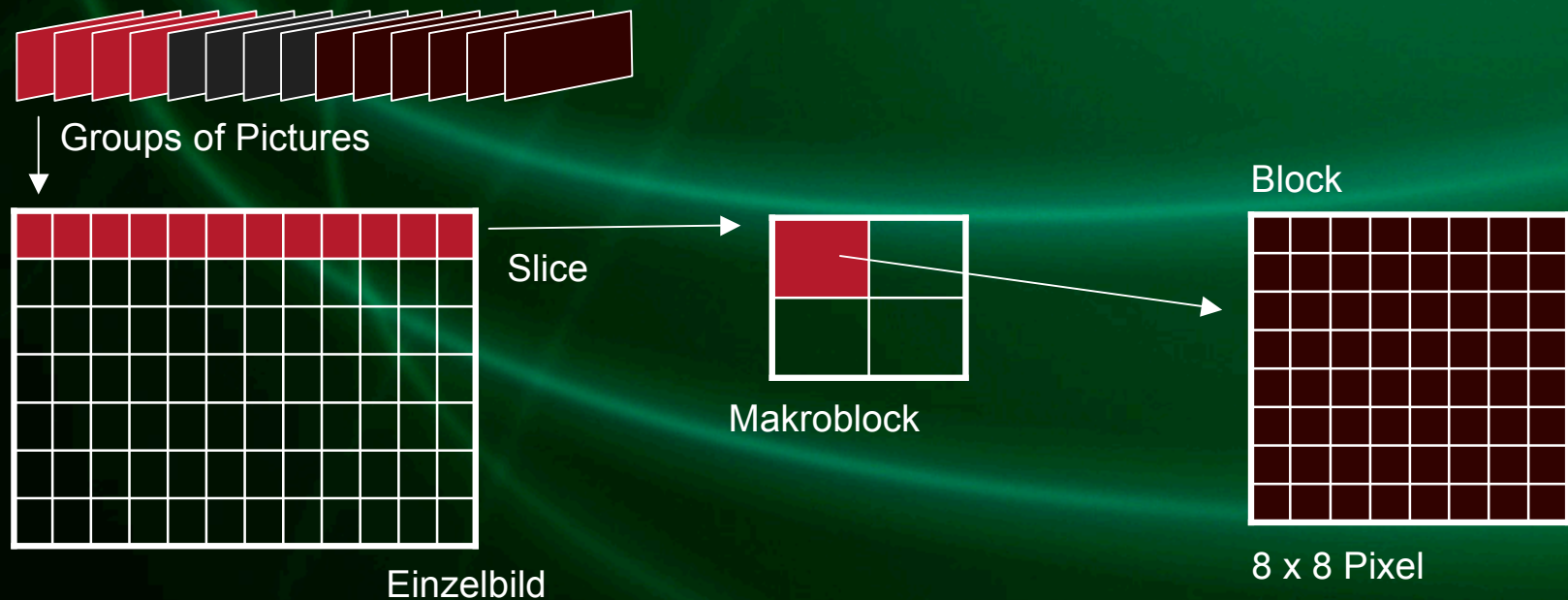
- Prinzipieller Ablauf



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung (2/11)**
  - Strukturierung des MPEG-Datenstroms



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

---

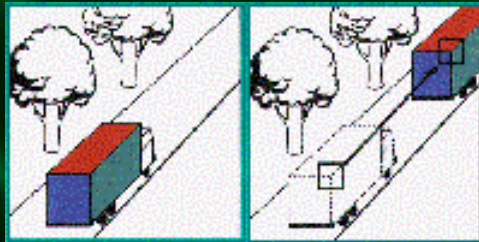
- **MPEG1 – Videokodierung** (3/11)
  - **Ablauf**
    - Farbraumkonvertierung → **YC<sub>r</sub>C<sub>b</sub>** (4:2:2)
    - Aufteilung der Einzelbilder in Zeilenabschnitte (Slices) und Makroblöcke
      - 16 x 16 Pixel Luminanz (Makroblock)
      - 8 x 8 Pixel Chrominanz (Block)
  - **Bewegungsvorhersagealgorithmus**
    - Vergleiche Luminanzmakroblöcke aufeinander folgender Einzelbilder
    - Ortsveränderungen von Luminanzmakroblöcken werden über **Vektoren** kodiert
    - Qualität abhängig von Suchraumgröße

# Rechnernetze und Internettechnologien

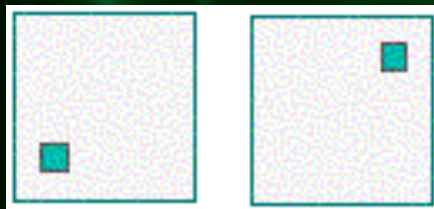
## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung** (4/11)

- **Bewegungsvorhersage**



- Bild n und Bild n+1



- Bewegtes Objekt identifiziert



- Vektor berechnen & kodieren



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

---

- **MPEG1 – Videokodierung (5/11)**

- **Ablauf**

- Farbraumkonvertierung →  $YC_rC_b$  (4:2:2)
- Bewegungsvorhersagealgorithmus

- **DCT – Transformation**

- Unterscheide Einzelbildvarianten:

- **Intra-Frame (I-Frame)**

vollständiges Einzelbild, keine Bewegungsvorhersage, stets erstes Bild einer Sequenz (Standbild)

- **Predictive Frame (P-Frame)**

nutzt zusätzlich Bewegungsvorhersage, bezieht sich auf vorhergehendes I-Frame

- **Bidirectional Frame (B-Frame)**

Bewegungsvorhersage, bezieht sich auf vorhergehendes/nachfolgendes P-/I-Frame

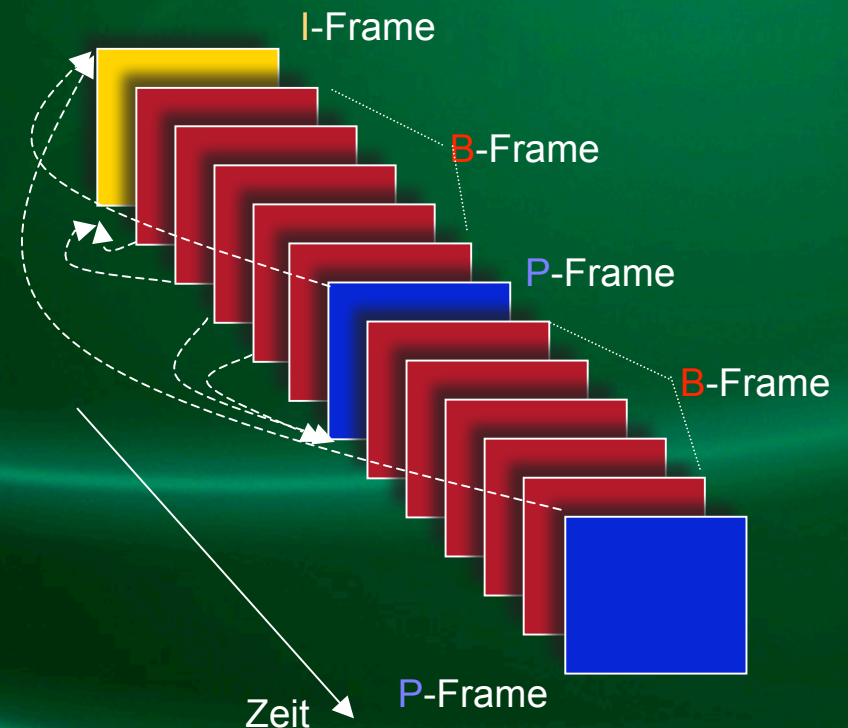
# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung (6/11)**

- **Frametypen**

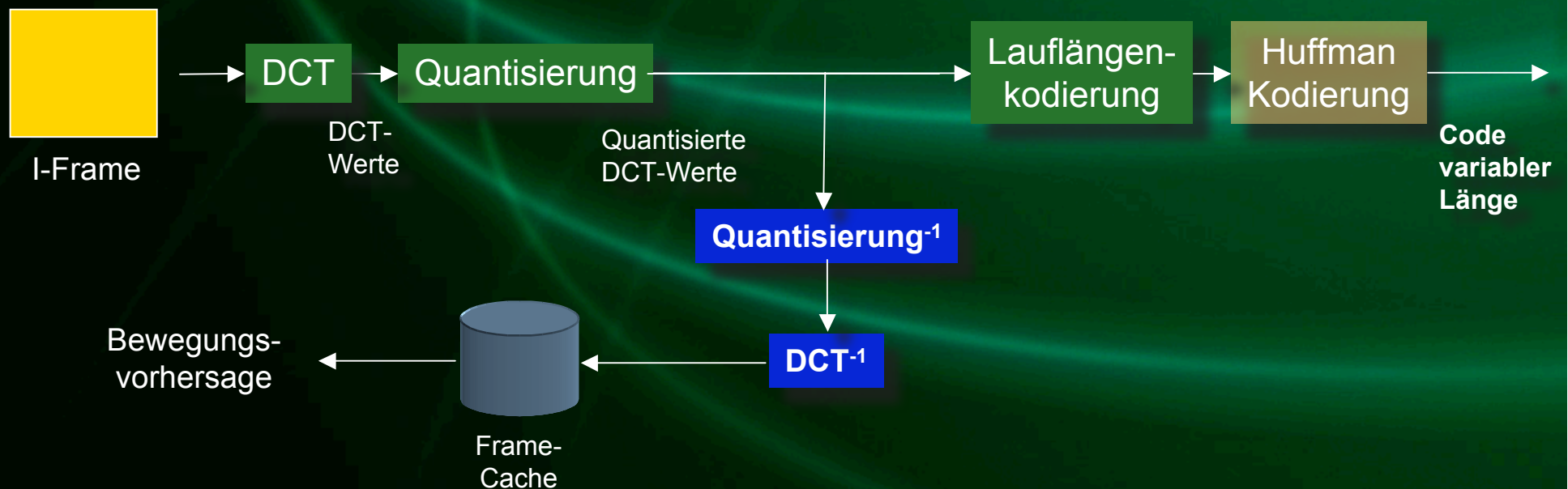
- I-Frame muss nach spätestens 12 Frames wieder folgen
- Reihenfolge und jeweilige Wiederholungsanzahl der einzelnen Frames sonst nicht vorgeschrieben



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung (7/11)**
  - **I-Frame Kodierung**



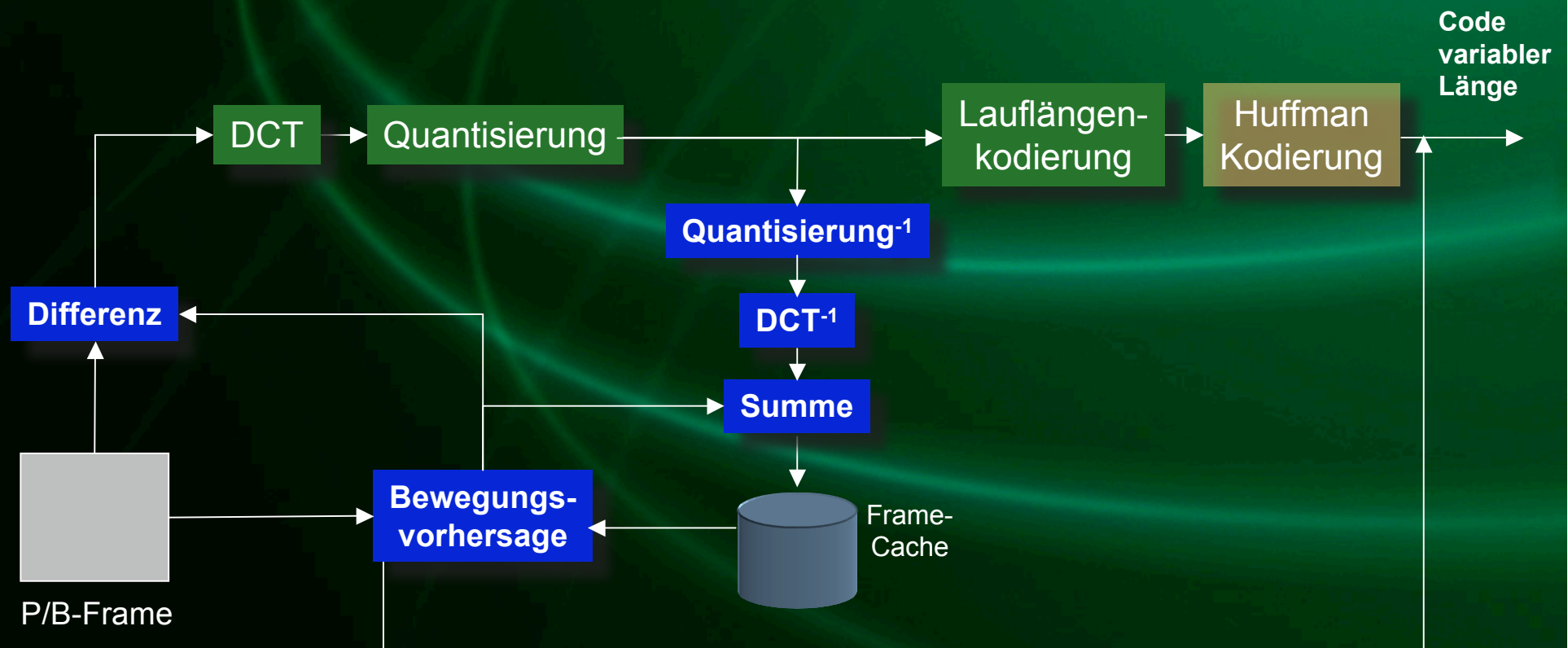
# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung** (8/11)

- **P/B-Frame Kodierung**

- Bewegungsvektoren werden kodiert



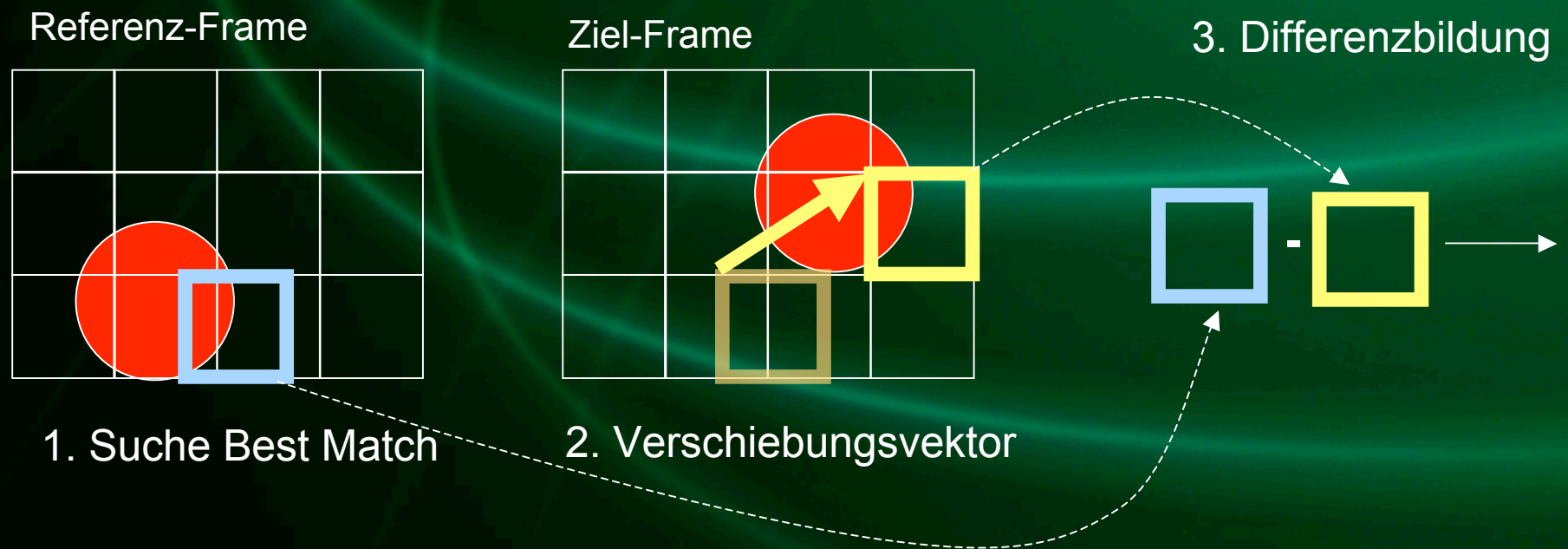


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung (9/11)**

- **P-Frame Kodierung**

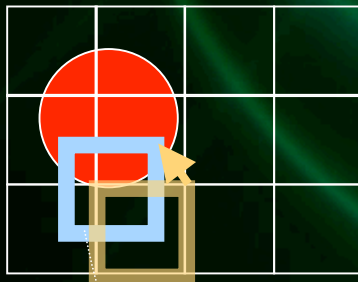


# Rechnernetze und Internettechnologien

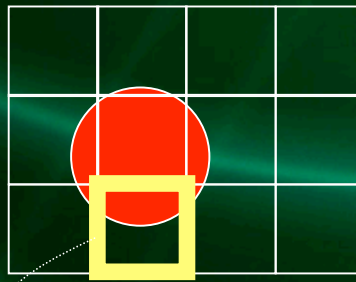
## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung** (10/11)
  - **B-Frame Kodierung**
    - Bidirektionale Bewegungsvorhersage

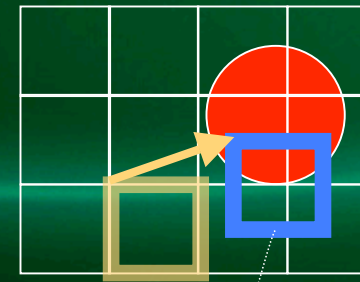
Past Referenz



Ziel-Frame



Future Referenz



1. Suche Best Match
2. Verschiebungsvektoren

$$\text{Yellow Box} - (\text{Blue Box} + \text{Blue Box}) / 2$$

3. Differenzbildung

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG1 – Videokodierung** (11/11)
  - **Typische Kompressionsfaktoren** (720x594, 4:2:0)

Frame	Size	Rate
I	92 kB	7:1
P	32 kB	20:1
B	13 kB	50:1
average	26 kB	25:1

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

---

- **Videokomprimierung nach MPEG**

- **Kenngroßen MPEG 1**

- Bandbreite: 1,25 MBit/s Video + 2 Audiokanäle  
≤1,82 MBit/s
- Auflösung: 360 x 288 x 25 (CIF Europe)  
352 x 240 x 30 (CIF USA)
- kein Interlacing möglich (→ TV-Aufzeichnung)

- **Kenngroßen MPEG 2**

- Bandbreite: 2 MBit/s – 80 MBit/s
- Auflösung: bis HDTV (1920 x 1080)  
theoretisch bis 16383 x 16383
- Subsampling: 4:4:4 bzw. 4:2:2
- Interlacing-Übertragung möglich



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG4 (1/4)**

- ISO-14496
- digitales TV, interaktive Multimedia-Anwendungen
- Videokodierung bei nur **geringer Bandbreite** und gleichzeitig **fehleranfälliger Umgebung**
- **Objektorientiertes Komprimierungsmodell**
  - Standbilder / Video-Objekte / Audio-Objekte
  - Synthetische Grafikobjekte (2D/3D)
  - Sprach- und Klangsynthese
  - ...
- Ergänzung zu den Standards MPEG 1 und MPEG 2

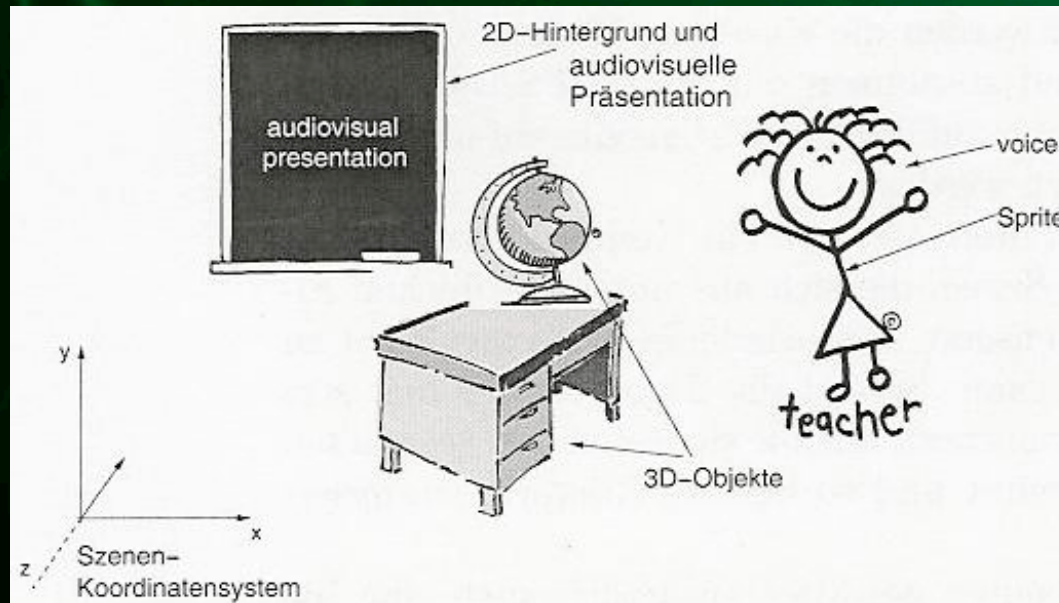


# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG4 (2/4)**

- Unterstützung von interaktiven Anwendungen durch **Medien Objekte**
  - (Person, Hintergrund, Text, Grafik, animierte Körper)



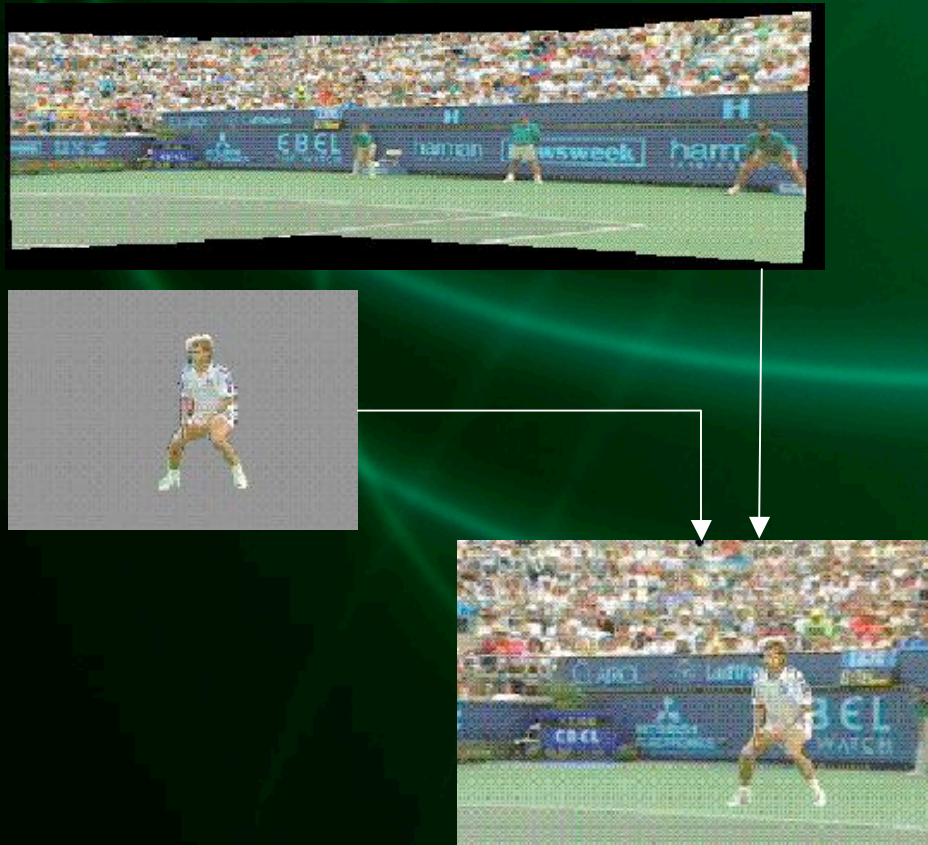
- **Zerlegung der Szene** in verschiedene Audio- & Video- Medienobjekte
- einzelne Medienobjekte werden **getrennt voneinander komprimiert**
- jedes Medienobjekt hat eigene räumliche/zeitliche Position und Dimension

- Interaktion mit Inhalten
  - Verändern von Objekten, Navigieren in Szenen, ...
- Erstellen synthetischer Szenen aus Medien Objekten

# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG4** (3/4)



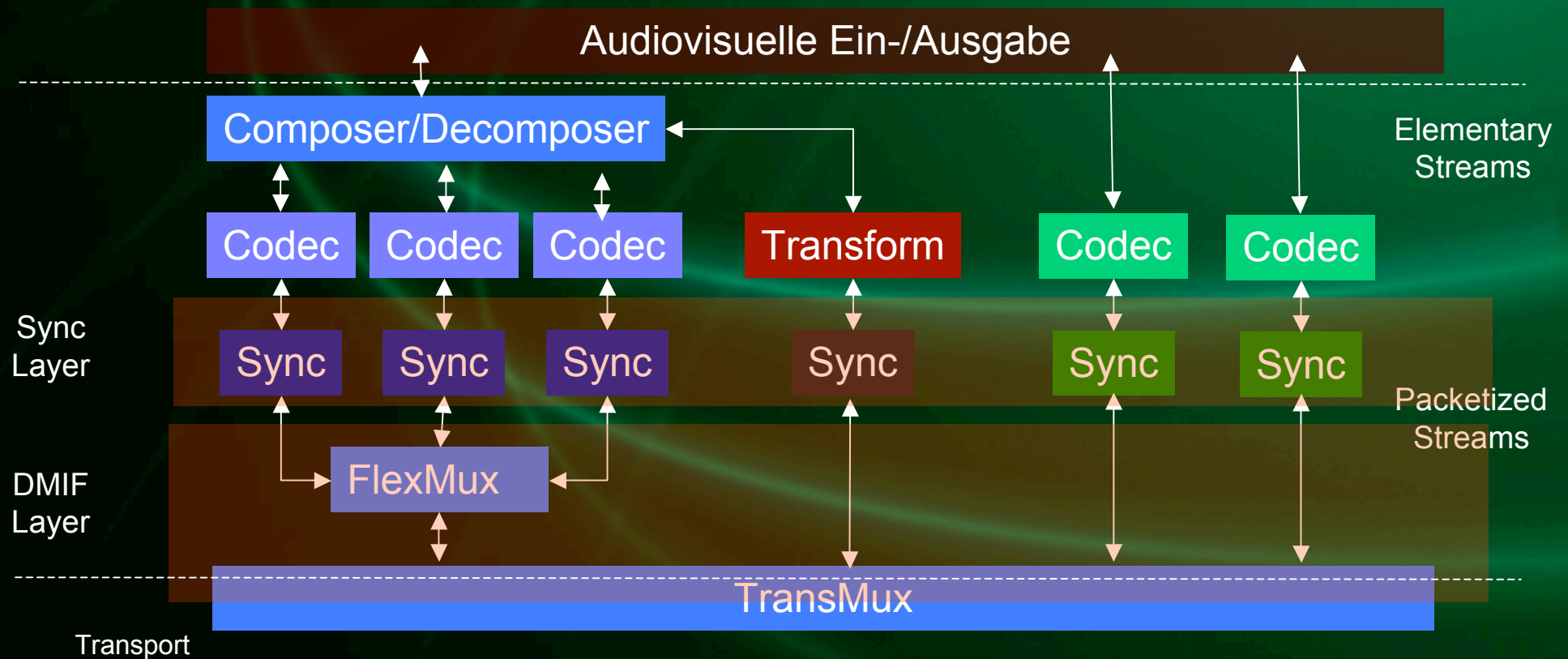
- Zerlegung der Szene in **Vordergrund** (Person, Sprite) und **Hintergrund**
- Hintergrund bleibt meist weitgehend statisch
- Vordergrund kann getrennt komprimiert werden



# Rechnernetze und Internettechnologien

## 2.7 Videokodierung und -komprimierung

- **MPEG4 (4/4)**
  - **Enkodierung / Dekodierung**





# Rechnernetze und Internettechnologien

---

## 2. Grundlagen der Digitalisierung – Datenrepräsentation im Computer

### ○ Literatur

- Ch. Meinel, H. Sack:  
*WWW– Kommunikation, Internetworking, Web-Technologien*, Springer, 2004.
- P.A. Henning:  
*Taschenbuch Multimedia*, 3. Aufl., Fachbuchverlag Leipzig, 2003.
- Thilo Strutz:  
*Bilddatenkompression - Grundlagen, Codierung, JPEG, MPEG, Wavelets*, Vieweg, 2. Aufl. 2002